ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADORES
ALINE MARA OLIVEIRA
OSVALDO SENA GUIMARÃES

VOLUME 19

Editora Poisson

Aline Mara Oliveira
Osvaldo Sena Guimarães
(Organizadores)

Engenharia, Gestão e Inovação
Volume 19

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

Engenharia, Gestão e Inovação - Volume 19/ Organizadores:Aline Mara Oliveira,Osvaldo Sena Guimarães - Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-517-5
DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. OLIVEIRA, Aline Mara II. GUIMARÃES,Osvaldo Sena III. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Elaboração do planejamento estratégico para o Departamento de Engenharia Rural/CCA/UFSC 06

Marilda da Penha Teixeira Nagaoka, Alberto Kazushi Nagaoka, Antonio Augusto Alves Pereira, Cledimar Rogério Lourenzi, Jorge Luiz Barcelos Oliveira, Sérgio Ricardo Rodrigues de Medeiros

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.01

Capítulo 2: Logística de cargas vivas 11

Fernando de Sousa Santana

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.02

Capítulo 3: Xampu sólido vegano detox à base de argila verde e óleo da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) 22

Thayssa Valéria Dantas de Abreu, Felipe Brito de Lima, Jamilly Rose Freitas Dias, Maria José Heloisa dos Santos Alves, Natália Esteves dos Santos, Shirley Cristina Cabral Nascimento, Marlice Cruz Martelli

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.03

Capítulo 4: Os plastificantes comerciais DOP, DOTP e TOTM no PVC e possíveis alternativas ao uso massivo de PVC pela indústria petroquímica 41

Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.04

Capítulo 5: Proposição de rota de produção de biodiesel a partir do óleo de cártamo 52

Adriane Carneiro Albertini, Amanda Dames Passos Neves, Isabel Tavares Collaça, Rosângela da Silva Leonardo, Carolina Vieira Viêgas, Gisel Chenard Díaz, Rene Gonzalez Carliz, Yordanka Reyes Cruz, Donato Alexandre Gomes Aranda

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.05

Capítulo 6: Sistemas de energia solar *off grid* de baixo custo: teoria e prática: aplicações, testes e análises 71

Hugo dos Santos, Mário Cupertino da Silva Júnior, Nara Silveira Velloso, Douglas Romeu da Costa, Luis Gustavo Figueiredo França, Wendel de Melo Massaranduba

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.06

Capítulo 7: Utilização dos experimentos de *Taguchi* para analisar uma soldagem industrial 89

Thiago André dos Santos, Fabíola Freitas de Miranda, João Ercio Miranda Júnior, Nilo Antonio de Souza Sampaio

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Tipos de métodos de controle de *Sitophilus* spp. (caruncho) em trigo armazenado 98

Tainá Pinheiro da Rocha, Denisdelkian Souza Diniz, Agahilton Oliveira de Souza Junior, Bruna Heloiza Gomes da Silva, Everton Pereira Fernandes, Joselma Araújo de Amorim, Pierre Corrêa Martins, Anoar Abbas El-Aouar

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.08

Capítulo 9: Construção modular e sua influência na expressão e funcionalidade da arquitetura contemporânea 117

Talita Ribeiro Rebello, Ariane Prevedello Rubin

DOI: 10.36229/978-65-5866-517-5.CAP.09

Autores 147

Capítulo 1

Elaboração do planejamento estratégico para o Departamento de Engenharia Rural/CCA/UFSC[1]

Marilda da Penha Teixeira Nagaoka
Alberto Kazushi Nagaoka
Antonio Augusto Alves Pereira
Cledimar Rogério Lourenzi
Jorge Luiz Barcelos Oliveira
Sérgio Ricardo Rodrigues de Medeiros

Resumo: O planejamento estratégico é um processo gerencial que permite estabelecer o rumo a ser seguido pela organização, com vistas a obter um nível de otimização na relação da organização com o seu ambiente. Este trabalho teve como objetivo elaborarem conjunto com professores, alunos e técnicos administrativos o Planejamento Estratégico do Departamento de Engenharia Rural da UFSC. A presente pesquisa tem natureza aplicada e abordagem qualitativa. Como instrumento de coleta de dados realizou reuniões com os componentes da comissão. A análise *SWOT* permitiu conhecer as potencialidades e deficiências, assim como as ameaças e oportunidades que deverão ser levadas em consideração no processo de gestão.

Palavras-chave: gestão, analise *SWOT*, ensino.

[1] Apresentado no LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024 - 6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Amboni (2002) o Planejamento Estratégico é apontado como uma ferramenta de gestão, sendo um dos pontos essenciais para adequar problemas encontrados nas organizações tanto públicas quanto privadas. Esta ferramenta aponta as medidas positivas que uma empresa deve tomar para enfrentar ameaças e aproveitar as oportunidades encontradas em seu ambiente. Como Centro da UFSC o departamento de Engenharia Rural precisa alinhar suas estratégias às estabelecidas pela Universidade. Este trabalho teve como objetivo elaborar em conjunto com professores, alunos e técnicos administrativos o Planejamento Estratégico do Departamento de Engenharia Rural da UFSC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis. Trata-se de uma pesquisa aplicada de natureza qualitativa, pois teve como propósito apoiar a gestão do departamento. Como instrumento de coleta de dados para a construção do planejamento estratégico foram realizadas várias reuniões com os representantes da comissão composta por professores, alunos da Graduação e da Pós-Graduação, Técnicos administrativos e um consultor externo ao Departamento. Na construção do planejamento estratégico seguiu-se a sequência de etapas: i) Realização do *Brainstorming* para cada etapa do Planejamento estratégico. A técnica do *Brainstorming* é usada para auxiliar um grupo a criar tantas ideias quanto possível em torno de um assunto ou problema de forma criativa; ii) Mapeamento das informações pela comissão; e iii) Validação das informações e agrupamento por área de semelhança - nesta etapa a comissão foi convidada a refletir sobre as informações mapeadas, sua pertinência e relevância. A partir desta reflexão, novas informações foram incluídas ou excluídas por consenso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO: ANALISE EXTERNA: AMEAÇAS E OPORTUNIDADES

Os Quadros 1 e 2 a seguir apresentam as ameaças e oportunidades identificados no ambiente externo. A partir desta identificação o gestor deve mapear quais são as ameaças e oportunidades mais relevantes e identificar ações potenciais para amenizar os efeitos das ameaças e aproveitar as oportunidades.

Quadro 1- Ameaças mapeadas e validadas pela comissão

1.FATORES ESTRUTURAIS
1.1 Infraestruturas inadequadas (estacionamento, sala de professor, laboratórios, equipamentos de informática);
1.2. Falta de manutenção das instalações (forro, filtros de água, lâmpadas, rede elétrica, ambiente de convivência).
2. FATORES ADMINISTRATIVOS E GESTÃO LOGISTICA
2.1. Sobrecarga de burocracia;
2.2 Mudanças na legislação;
2.3. Incertezas quanto a substituição de professores que estão se aposentado;
2.4. Dificuldade de reposição de técnicos auxiliares e administrativos;
2.5. Inadequada capacitação das lideranças;
Logística inadequada para aulas práticas e visitas;
2.7. Falta de segurança no Campus;
2.8 Falta de materiais de consumo (garrafa de café, micro-ondas, etc.).
3. FATORES POLÍTICOS INIBIDORES DO BOMDESEMPENHO DO ENR
3.1. Conjuntura política do CCA;
3.2 Corporativismos de outros departamentos do CCA;
3.3. Política de expansão de professores do quadro de outros departamentos;
3.4. Falta de equidade por parte dos líderes.
4. ALOCAÇÃO DE RECURSOS
4.1. Falta de incentivos financeiros;
4.2. Pouca disponibilidade de recursos financeiros;
4.4. Condições de permanência inadequada para os alunos (aluguel, alimentação, bolsas, etc.
4.5. Alto preço dos equipamentos

As ameaças e oportunidades foram agrupadas por fatores semelhantes de acordo com a percepção dos atores que participaram da elaboração do planejamento estratégico. Esta organização das informações permite uma visualização dos fatores externos que mais impactam o desempenho do departamento. A partir deste conhecimento, o gestor e os demais atores conseguem ter uma visão mais abrangente e holística do ambiente externo em que o departamento está inserido. O que permite planejar ações que sejam mais coerentes e assertivas com o contexto considerado.

Quadro 2- Oportunidades mapeadas e validadas pela comissão

1. FATORES INSTITUCIONAIS
1.1 Imagem positiva da UFSC perante a Sociedade;
1.2. Localização do Campus da UFSC;
1.3. Criação de Cursos de Pós-Graduação;
1.4.Oferta da capacitação administrativa e pedagógica por parte do CppD;
1.5. Oferta de qualificação dos professores;
1.6. Parcerias com agências de fomento e ONG´s.
2. FATORES LEGAIS
2.1. Lei de inovação – aproximação entre o setor público e privado;
2.2. Política nacional de Resíduos Sólidos;
2.3 Plano de logística sustentável.
3. DEMANDAS SOCIAIS
3.1. Demandas por tecnologia na agricultura familiar;
3.2. Áreas de conhecimento não cobertas pelo ENR (cultivo protegido, drones);
3.3. Prestação de serviços (cursos);
3.4. Demanda por tecnologias de baixo custo e pequeno porte;
3.5. Demandas por capacitação externa (EaD).
4. FATORES ECONOMICOS E GEOGRÁFICOS
4.1. Agricultura familiar forte;
4.2. Disponibilidade de financiamento;
4.3. Clima favorável ao desenvolvimento da agricultura.
5. FATORES ESTRUTURAIS
5.1. Ocupação e uso da Fazenda Experimental da Ressacada - FER;
5.2. Construção de prédio inteligente;
5.3. Facilidade de uso de novas tecnologias.

3.2. DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO: ANALISE INTERNA: PONTOS FORTES E FRACOS

Os quadros 3 e 4 a seguir apresentam os pontos fortes e fracos identificados no ambiente interno. A partir desta identificação o gestor deve mapear quais são as suas forças mais relevantes e quais são seus pontos fracos mais significativos que devem ser aperfeiçoados.

Quadro 3- Pontos fortes mapeados e validados pela comissão

1. GESTÃO DE PESSOAS
1.1. Comprometimento de professores e TAEs;
1.3. Comunicação interna eficaz;
1.4. Clima organizacional favorável.
2. PROCESSOS INTERNOS
2.1. Ofertade atividades de ensino e cursos de extensão alinhados com as demandas sociais locais;
2.2. Possibilidades de pesquisa integradascom outras instituiçõese departamentos da UFSC;
2.3. Desenvolvimento de projetos emparcerias com fundações (FAPESC, FEESC; FAPEU, etc..);
2.4.Disponibilidade da área da FER para desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão); 2.5. Departamentos com representação em diversos conselhose atuação em órgãos administrativos;
2.6. Acesso e disponibilidade de uso dos TIC.
3. DIFERENCIAIS COMPETITIVOS
3.1. Laboratórios reconhecidos nacionalmente;
3.2 Experiênciasem organizaçãode eventos nacionais;
3.3.Experiencias em realização de cursos de extensão de qualidade;
3.4 Área física da hidroponia esteticamente atrativa;
3.5. Localização privilegiada do CCA.
4. COMPETÊNCIAS ORGANIZACIONAIS
4.1. Capacidade de atender uma grade curricular em vários campos de conhecimento;
4.2 Facilidades de relacionamento com a iniciativa privada;
4.3 Flexibilidade e agilidade para atuar em novas áreas de conhecimento;
4.4. Equipes de professores aptos a concorrerem nos editais;
4.5.Detentores de conhecimentos em áreas estratégicas atuais (agricultura urbana, geoprocessamento, hidroponia, Sistema de Plantio Direto de hortaliças (SPDH), Agrometeorologia, etc.

Quadro 4- Pontos fracosmapeados e validados pela comissão

1. GESTÃO DE PESSOAS
1.1. Falta de liderança nos interesses comuns do departamento;
1.2. Insuficiência de técnicos laboratoriais e Administrativos;
1.3. Falta de unidade e articulação entre os professores;
1.4 Pouca força política do departamento.
2. INFRA-ESTRUTURA E RECURSOS
2.1 Infraestrutura insuficiente e inadequada;
2.2. Recursos financeiros insuficientes (manutenção, materiais didáticos, diárias, etc.);
3. PROCESSOS INTERNOS
3.1. Falta de interdisciplinaridade na grade curricular;
3.2. Não há regularidade na prestação de contas.
3.3Falta de discussão dos critérios utilizados na distribuição dos recursos financeiros;
3.4. Desconhecimento do regimento;
3.5. Falta de padronização nos procedimentos administrativos;
3.6. Falta de objetivos comuns definidos;
3.7. Falta de objetivos comuns definidos;
3.8. Pouca participação na Pós-Graduação;
3.9. Pouca conexão com a realidade regional entre departamento e produtores rurais;
3.10 Inexistência de curso de Pôs Graduação Lato Sensu que atenda a Engenharia Rural (EaD).

Os pontos fortes e fracos representam as potencialidades e as deficiências internas ao contexto analisado. Estes fatores foram agrupados por semelhanças de acordo com a percepção dos atores que participaram da elaboração do planejamento estratégico e podem ser gerenciados pelo gestor já que são internos ao departamento e a gestão possui certa autonomia sobre eles. A identificação dos pontos fortes e fracos auxiliam no sentido de evidenciar os fatores que demandam mais atenção e onde deve se concentrar os esforços da gestão.

4. CONCLUSÕES

A partir da construção do Planejamento Estratégico foi possível identificar as potencialidades, debilidades, ameaças e oportunidades relacionadas ao Departamento de Engenharia Rural do CCA. Este conhecimento é fundamental para que os atores possam propor ações que vão impactar o desempenho do departamento. O planejamento estratégico deve ser entendido como um plano que fornece informações relevantes à organização, porém, não se propõe a implementar a visão da organização. Por esta razão, a comissão deve, a partir destas informações, identificar objetivos e indicadores para implementar o planejamento estratégico.

REFERÊNCIAS

[1] AMBONI, Nério. **Base estratégica corporativa.** Revista Brasileira de Administração, Brasília, ano XII, n° 37, junho de 2002.

Capítulo 2

Logística de cargas vivas

Fernando de Sousa Santana

Resumo: A logística de cargas vivas tem se mostrado um campo complexo e essencial dentro da cadeia de suprimentos, especialmente devido aos desafios específicos relacionados ao transporte de animais e plantas. Este trabalho objetiva analisar os principais aspectos que envolvem a logística de cargas vivas, identificando os problemas operacionais, as soluções tecnológicas e as regulamentações envolvidas nesse processo. A pesquisa aborda as dificuldades enfrentadas pelas empresas especializadas, como a falta de infraestrutura adequada, o não cumprimento de normas sanitárias e a carência de tecnologias de monitoramento. Além disso, discute as melhores práticas para a gestão eficiente da logística de cargas vivas, enfatizando a importância da qualificação dos profissionais e da conformidade com as regulamentações. Conclui-se que a modernização da infraestrutura e a implementação de tecnologias inovadoras são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência no transporte de cargas vivas.

Palavras-chave: Logística de cargas vivas, Transporte de animais, Regulamentações sanitárias, Soluções tecnológicas, Monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

A logística de cargas vivas é uma área de grande importância dentro do campo da Engenharia de Produção, que envolve a organização, o transporte e a distribuição de produtos vivos, como animais e plantas. Esse segmento exige cuidados especiais, uma vez que as cargas são vulneráveis a uma série de fatores que podem comprometer sua integridade e saúde. O transporte de animais para a produção alimentícia, pesquisa científica ou até para outros setores industriais, como o agronegócio, é uma prática essencial e crescente. Além disso, as cargas vivas são, frequentemente, associadas à necessidade de um planejamento minucioso de logística, com foco em segurança, bem-estar e eficácia na operação. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar os principais desafios e soluções aplicadas à logística de cargas vivas, com ênfase nos aspectos técnicos, normativos e gerenciais que envolvem esse tipo de operação.

A crescente demanda por alimentos de origem animal e produtos derivados tem ampliado o campo de atuação da logística de cargas vivas, sendo fundamental para o abastecimento de mercados locais e internacionais. Em paralelo, o avanço das tecnologias de rastreamento e monitoramento de cargas tem proporcionado maior controle sobre o transporte de animais e vegetais, reduzindo perdas e aumentando a eficiência dos processos. Nesse contexto, entender os processos logísticos relacionados a esse tipo de carga é essencial para desenvolver soluções inovadoras que atendam às exigências do setor produtivo. Além disso, a complexidade das variáveis que influenciam o transporte de seres vivos, como temperatura, umidade, ventilação e segurança, torna o estudo dessa área uma necessidade para a otimização das operações logísticas. Dessa forma, é importante refletir sobre as estratégias adotadas, os desafios enfrentados pelos profissionais e as melhores práticas para assegurar o sucesso da operação.

Este trabalho busca delimitar o tema da logística de cargas vivas com um foco específico nos aspectos que envolvem o transporte de animais. A problemática central do estudo gira em torno dos desafios enfrentados na operacionalização dessa logística, que exige cuidados especiais para garantir a sobrevivência e o bem-estar dos animais durante o transporte. Questões como a adequação dos veículos de transporte, as condições climáticas, o controle de estresse nos animais e a formação de profissionais qualificados para lidar com essas cargas, tornam centrais para o sucesso ou fracasso dessa operação. A pesquisa busca investigar como as estratégias logísticas atuais podem ser aprimoradas para reduzir riscos e aumentar a eficiência, ao mesmo tempo em que garantem o cumprimento das normas sanitárias e de segurança, minimizando o impacto ambiental das operações.

As possíveis respostas para o problema de pesquisa levantado neste trabalho envolvem a identificação e análise de melhores práticas no setor de logística de cargas vivas. As hipóteses que orientam a investigação são de que a adoção de novas tecnologias de monitoramento, a implementação de treinamento especializado para os profissionais do setor e a modernização da frota de transporte são algumas das soluções que podem contribuir significativamente para a melhoria das operações. A hipótese também inclui a importância de um maior controle regulatório, no sentido de promover um sistema de transporte que minimize riscos ao transporte e ao bem-estar dos animais, sem prejudicar a viabilidade econômica das operações logísticas.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a logística de cargas vivas, com foco nos desafios e soluções para o transporte de animais, propondo alternativas que melhorem a eficácia do processo. Os objetivos específicos incluem: 1) Examinar os principais desafios

enfrentados pelos profissionais envolvidos na logística de cargas vivas; 2) Analisar as tecnologias de rastreamento e monitoramento aplicáveis à logística de cargas vivas; 3) Propor melhorias para os processos de transporte de animais; 4) Identificar as normativas e regulamentações que impactam a operação da logística de cargas vivas. Este estudo busca, portanto, oferecer um conjunto de recomendações para otimizar os processos e aumentar a segurança e o bem-estar dos animais durante o transporte.

A relevância deste trabalho acadêmico se dá pela contribuição que ele oferece ao setor da logística, especialmente na área de transporte de cargas vivas, que é um segmento com crescente importância econômica e social. As soluções apresentadas para os desafios enfrentados por esse segmento têm o potencial de melhorar a qualidade do transporte de animais e de reduzir as perdas causadas por falhas operacionais. Para a sociedade, isso se traduz em uma melhoria da qualidade dos produtos alimentícios de origem animal, além de promover uma maior conscientização sobre a importância de práticas sustentáveis e éticas no transporte de seres vivos. Para a comunidade científica, o estudo contribuirá com uma análise crítica e atualizada sobre as operações logísticas neste setor, incentivando novos estudos e a implementação de inovações tecnológicas.

A metodologia adotada neste trabalho é a pesquisa bibliográfica, que consiste em uma revisão de literatura sobre o tema da logística de cargas vivas, abrangendo estudos de autores renomados e especialistas da área. Serão analisados livros, artigos científicos, teses, dissertações e outros materiais acadêmicos que discutem os processos logísticos, regulamentações e inovações no transporte de animais. A escolha por esse tipo de pesquisa se justifica pela necessidade de explorar as diversas perspectivas sobre o tema e fornecer uma base sólida de conhecimento para o desenvolvimento de possíveis soluções para os problemas enfrentados no transporte de cargas vivas. Além disso, a pesquisa bibliográfica possibilita uma análise mais aprofundada das tendências atuais e das melhores práticas adotadas no mercado.

A estrutura do trabalho está organizada de forma a facilitar a compreensão do leitor sobre os diversos aspectos que envolvem a logística de cargas vivas. O primeiro capítulo apresentará um panorama geral sobre o tema, com a definição dos conceitos e a análise do contexto histórico do transporte de animais e plantas. O segundo capítulo abordará os desafios operacionais enfrentados nesse tipo de logística, com foco nas questões relacionadas ao transporte de animais vivos. O terceiro capítulo discutirá as soluções tecnológicas e inovadoras que têm sido aplicadas para melhorar a eficiência do transporte de cargas vivas, incluindo o uso de sistemas de rastreamento e monitoramento. O quarto capítulo analisará as regulamentações que afetam a logística de cargas vivas, com especial atenção às normativas sanitárias e de segurança. O último capítulo será dedicado às conclusões e recomendações, que apresentarão as soluções mais eficazes para otimizar o processo logístico no setor.

2. PANORAMA GERAL SOBRE A LOGÍSTICA DE CARGAS VIVAS

A logística de cargas vivas é um ramo da logística que se ocupa do transporte, manuseio e distribuição de produtos vivos, como animais e plantas, e tem ganhado relevância devido à crescente demanda no agronegócio e na indústria alimentícia. A definição dessa logística envolve um complexo conjunto de atividades, incluindo transporte, acondicionamento, monitoramento das condições ambientais e cuidados específicos para preservar a integridade das cargas. Segundo Pereira *et al.* (2022) o conceito de logística de cargas vivas engloba não apenas o transporte, mas também as estratégias para assegurar o bem-

estar dos seres vivos, minimizando os riscos de estresse e danos durante o trajeto. Além disso, a gestão eficiente de cargas vivas se caracteriza pela capacidade de adaptar os processos logísticos a diferentes tipos de carga e as necessidades específicas de cada operação, com um foco intenso na segurança e no conforto dos seres vivos transportados.

A logística de cargas vivas não é um fenômeno recente. O transporte de seres vivos remonta aos primeiros anos do comércio, quando os animais eram transportados para abastecer mercados urbanos e rurais. No entanto, foi apenas no século XX que a logística de cargas vivas começou a se estruturar de forma mais sistemática, com o advento de tecnologias como os sistemas de climatização e os veículos refrigerados. A evolução histórica da logística de cargas vivas, conforme observam Silva *et al.* (2019) está diretamente ligada ao avanço das práticas comerciais e à necessidade de atender a mercados cada vez mais exigentes. O crescimento das cadeias de produção de alimentos e a intensificação do comércio internacional também contribuíram para o desenvolvimento de estratégias logísticas voltadas para o transporte de animais e plantas, com foco na preservação de sua qualidade e saúde durante o transporte.

A análise do contexto histórico da logística de cargas vivas revela a complexidade dos desafios enfrentados pelos profissionais dessa área. Desde o século XIX, a utilização de modais de transporte como navios, trens e caminhões foi fundamental para a expansão do comércio de animais e plantas, mas ainda apresentava limitações, como a falta de controle sobre as condições ambientais durante a viagem. Com o tempo, melhorias na infraestrutura de transporte e o surgimento de novas tecnologias de monitoramento permitiram a criação de sistemas mais sofisticados e seguros. Segundo Silva *et al.* (2019) a introdução de tecnologias de rastreamento e monitoramento de condições ambientais foi um marco importante no setor, pois possibilitou a supervisão constante das condições de temperatura, umidade e ventilação durante o trajeto, aspectos essenciais para a segurança das cargas vivas.

O panorama atual da logística de cargas vivas se caracteriza pela crescente demanda por soluções eficientes e sustentáveis para o transporte de animais e plantas. De acordo com Souza *et al.* (2021) a globalização e o aumento do comércio internacional trouxeram à tona novos desafios, como a necessidade de atender a regulamentações mais rigorosas e garantir a rastreabilidade das cargas em tempo real. Além disso, a sociedade tem se tornado cada vez mais exigente quanto às condições de transporte e ao tratamento ético dos animais. Nesse contexto, é essencial que os profissionais da área estejam cada vez mais capacitados para lidar com esses desafios, utilizando-se de inovações tecnológicas e práticas eficientes de gestão logística.

A sustentabilidade, além da segurança, tem se tornado uma preocupação crescente na logística de cargas vivas, principalmente devido aos impactos ambientais causados pelo transporte de seres vivos. Para atender a essa demanda, novas abordagens têm sido incorporadas, incluindo o uso de veículos com menor impacto ambiental e a otimização de rotas. Segundo Oliveira *et al.* (2020) o conceito de logística verde tem se expandido dentro desse segmento, incentivando práticas mais responsáveis em relação ao meio ambiente e à eficiência energética. Dessa forma, a logística de cargas vivas não é apenas uma questão de eficiência operacional, mas também de compromisso com a preservação ambiental, alinhando às tendências globais de sustentabilidade.

2.1. DESAFIOS OPERACIONAIS NO TRANSPORTE DE CARGAS VIVAS

Os desafios operacionais no transporte de cargas vivas são diversos e exigem um planejamento minucioso e uma execução precisa para garantir a integridade dos seres vivos durante o trajeto. Entre os principais desafios estão às variações climáticas, o transporte em longas distâncias e o risco de doenças que podem ser transmitidas durante o transporte. Conforme Lima *et al.* (2020) o transporte de cargas vivas envolve o manejo adequado dos animais, evitando o estresse causado por temperaturas extremas, movimentação inadequada e superlotação dos veículos. Além disso, a segurança do transporte também está intimamente relacionada à escolha dos meios de transporte adequados, que devem ser adaptados às necessidades específicas de cada tipo de carga.

Outro grande desafio enfrentado na logística de cargas vivas é a questão do estresse nos animais, que pode comprometer a saúde e o bem-estar durante o transporte. Estudos como os de Costa *et al.* (2020) demonstram que fatores como o tempo de transporte, a falta de alimentação e hidratação adequadas, bem como a superlotação dos veículos, são fatores de risco para o estresse dos animais, podendo resultar em danos irreparáveis. A gestão eficaz desses fatores exige o uso de tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento em tempo real, que possibilitam a gestão de todos os aspectos do transporte, garantindo que os animais sejam mantidos em condições ideais durante o trajeto.

A capacitação dos profissionais envolvidos no transporte de cargas vivas também é um desafio crucial para o sucesso das operações logísticas. Segundo Almeida *et al.* (2020) muitos dos incidentes relacionados ao transporte de animais vivos estão diretamente ligados à falta de treinamento adequado. A falta de conhecimento sobre as necessidades específicas de cada espécie, o manejo inadequado e o desconhecimento sobre os riscos envolvidos podem resultar em acidentes e prejuízos tanto para os animais quanto para as empresas. Por isso, é fundamental que as empresas invistam na formação e atualização constante de seus colaboradores, garantindo que todos estejam cientes das melhores práticas e dos cuidados necessários.

A logística de cargas vivas enfrenta ainda desafios regulatórios que devem ser observados para assegurar a conformidade com as leis e regulamentos específicos de cada país. As normas sanitárias e de transporte para animais vivos variam consideravelmente de uma região para outra, o que torna o transporte internacional ainda mais complexo. De acordo com Silva *et al.* (2019) o cumprimento das normas de bem-estar animal e as exigências de rastreabilidade são cruciais para a operação logística, sendo que a violação dessas regras pode resultar em sanções legais severas e danos à imagem das empresas envolvidas.

Além disso, a sustentabilidade no transporte de cargas vivas também representa um desafio operacional significativo. O aumento da conscientização ambiental tem impulsionado a busca por soluções mais ecológicas no transporte de animais, como o uso de veículos elétricos ou híbridos e a otimização das rotas de transporte para reduzir a emissão de gases poluentes. A pressão por uma logística mais verde tem se intensificado, e segundo Souza *et al.* (2021) as empresas do setor têm investido em inovações tecnológicas que minimizam o impacto ambiental do transporte, ao mesmo tempo que garantem o bem-estar dos animais.

2.2. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA A LOGÍSTICA DE CARGAS VIVAS

As soluções tecnológicas têm se tornados fundamentais para a melhoria da logística de cargas vivas, oferecendo meios de controle e monitoramento em tempo real das condições das cargas. A utilização de sensores de temperatura, umidade e oxigênio, combinados com sistemas de rastreamento GPS, tem permitido que as empresas acompanhassem com precisão as condições do transporte e intervenham rapidamente em caso de necessidade. Segundo Costa *et al.* (2020) essas tecnologias são essenciais para a garantia do bem-estar dos animais, permitindo ajustes imediatos nas condições de transporte e evitando perdas significativas durante o trajeto.

Além das tecnologias de monitoramento, os avanços na automação dos processos logísticos têm contribuído para otimizar a gestão do transporte de cargas vivas. A utilização de sistemas integrados de gestão logística permite uma coordenação mais eficaz entre os diferentes atores envolvidos no processo, desde a carga até a entrega final. Oliveira *et al.* (2020) destacam que a implementação de plataformas digitais de gestão tem possibilitado uma maior visibilidade dos processos, permitindo a previsão de possíveis falhas e melhorando a comunicação entre os envolvidos na operação.

A tecnologia também tem se aplicado ao desenvolvimento de veículos mais adequados para o transporte de cargas vivas. De acordo com Souza *et al.* (2021) os veículos refrigerados, por exemplo, são uma solução essencial para o transporte de animais, pois garantem a manutenção de uma temperatura adequada, evitando o estresse térmico. Além disso, a inovação no design dos veículos, como a melhoria na ventilação e no conforto das áreas de carga, tem se mostrado eficaz na redução de riscos para os animais, permitindo que cheguem ao destino em condições ideais.

Outra inovação tecnológica importante é o uso de inteligência artificial para otimizar as rotas de transporte de cargas vivas. A IA tem permitido a análise de dados em tempo real para determinar as rotas mais rápidas e seguras, considerando fatores como tráfego, condições climáticas e segurança da carga. Segundo Lima *et al.* (2020) a utilização de inteligência artificial no planejamento das rotas tem proporcionado uma redução no tempo de transporte e, consequentemente, no estresse dos animais, além de resultar em economias significativas para as empresas envolvidas.

O futuro da logística de cargas vivas também aponta para o uso crescente de drones e robôs no monitoramento e no transporte de pequenas cargas, como sementes e pequenos animais. Embora ainda em estágio experimental, essas tecnologias têm o potencial de revolucionar o setor, tornando ainda mais eficiente e seguro. De acordo com Almeida *et al.* (2020) os drones podem ser utilizados para realizar inspeções aéreas em grandes áreas, enquanto os robôs podem atuar no manejo de cargas de forma mais precisa e automatizada, oferecendo soluções inovadoras para um setor que exige cuidados extremos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A logística de cargas vivas é um campo que envolve desafios e complexidade devido à necessidade de garantir o bem-estar dos seres vivos durante o transporte, bem como atender às exigências legais e operacionais do processo logístico. O transporte de animais e plantas, por exemplo, exige cuidados específicos relacionados ao clima, alimentação e manipulação, sendo essencial o uso de tecnologias avançadas e de uma infraestrutura adequada para atender a essas necessidades. Segundo Lima *et al.* (2020) a logística de

cargas vivas precisa lidar com variáveis como temperatura, umidade, ventilação e tempo de transporte, aspectos que têm impactos diretos na qualidade e na segurança da carga. O estudo dessas condições é fundamental para o desenvolvimento de práticas mais eficientes e seguras, tanto para o transporte de produtos perecíveis quanto para a preservação da vida desses organismos. Nesse contexto, a revisão da literatura se faz importante para elucidar os aspectos históricos, operacionais e tecnológicos dessa área, contribuindo para a implementação de soluções mais adequadas no setor.

A logística de cargas vivas é marcada por uma série de desafios operacionais. Durante o transporte de animais vivos, por exemplo, é necessário observar questões como a saúde dos animais, o espaço adequado para o seu transporte, além de garantir a minimização do estresse. Segundo Silva *et al.* (2019) o transporte de animais de diferentes espécies exige a adaptação de veículos especializados, que oferecem conforto e segurança. As condições do transporte também são reguladas por leis que buscam proteger os direitos dos animais, e os transportadores precisam estar cientes dessas normas para evitar sanções. O transporte de plantas, por sua vez, envolve preocupações relacionadas ao controle de pragas e doenças, além da preservação das condições ideais para o crescimento das plantas. Para ambos os casos, a operação logística deve ser acompanhada de perto para garantir que os parâmetros ideais sejam mantidos durante todo o trajeto.

A tecnologia tem sido uma grande aliada na logística de cargas vivas, proporcionando soluções inovadoras para aumentar a eficiência e a segurança do transporte. A utilização de sistemas de rastreamento, por exemplo, tem permitido o monitoramento em tempo real das condições de transporte. Oliveira *et al.* (2020) destacam que os sistemas de monitoramento por GPS e sensores de temperatura, umidade e pressão são fundamentais para garantir que as condições ideais sejam mantidas ao longo do percurso. Esses avanços tecnológicos não apenas facilitam o acompanhamento das cargas, mas também permitem uma reação mais rápida em casos de emergência. A integração de plataformas digitais também tem contribuído para otimizar a gestão logística, permitindo uma comunicação mais eficiente entre todos os envolvidos no processo de transporte. Dessa forma, a tecnologia tem se mostrado um elemento essencial para a melhoria das práticas logísticas de cargas vivas, proporcionando não apenas um transporte mais seguro, mas também mais sustentável.

A regulamentação que rege o transporte de cargas vivas é um dos principais aspectos a ser considerado neste tipo de logística. Existe uma série de normativas internacionais e nacionais que visam garantir a segurança e o bem-estar dos seres vivos durante o transporte. A legislação, que inclui normas sanitárias e de segurança, tem como objetivo assegurar que as cargas vivas sejam transportadas de maneira ética e seguras. Pereira *et al.* (2022) afirmam que a fiscalização rigorosa é necessária para garantir o cumprimento das regulamentações, e que as infrações podem resultar em graves consequências tanto para os animais quanto para as empresas envolvidas. Entre as normas mais importantes, destacam as que regulam a temperatura, ventilação, alimentação e espaço adequado para os seres vivos transportados. A importância dessas regulamentações se reflete na necessidade de um transporte responsável e que não cause sofrimento aos animais e plantas em trânsito.

Um aspecto crucial da logística de cargas vivas é a formação de profissionais capacitados para lidar com as exigências desse tipo de transporte. A qualificação dos operadores logísticos é fundamental para garantir que o transporte seja realizado com a segurança e os cuidados necessários. Costa *et al.* (2020) ressaltam que além do conhecimento técnico sobre as condições ideais de transporte, os profissionais precisam estar preparados para

agir rapidamente em situações emergenciais, como mudanças climáticas inesperadas ou problemas de saúde nos animais. Dessa forma, a formação contínua e a capacitação dos profissionais envolvidos na logística de cargas vivas são indispensáveis para o sucesso da operação e para a minimização de riscos durante o transporte. Além disso, é necessário que as empresas invistam em treinamentos e atualizações sobre as normativas legais que regem a área.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho sobre logística de cargas vivas foi baseada em uma abordagem exploratória e descritiva, visando à compreensão profunda das práticas logísticas envolvidas no transporte de seres vivos, sejam animais ou plantas. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para embasar teoricamente o estudo, a partir de fontes como livros, artigos científicos e publicações especializadas sobre transporte, regulação e tecnologia aplicada. A revisão da literatura proporcionou uma base sólida de conhecimento, permitindo identificar os principais desafios enfrentados na logística de cargas vivas, as tecnologias disponíveis e as regulamentações pertinentes. Essa pesquisa foi complementada por uma análise documental das normativas vigentes, com foco nas legislações nacionais e internacionais que regulam o transporte de animais e plantas, visando fornecer um panorama detalhado sobre o tema.

A segunda etapa da metodologia envolveu a realização de um estudo de caso, com o objetivo de analisar de forma prática a aplicação dos conceitos e teorias discutidos na revisão da literatura. O estudo de caso foi conduzido em uma empresa de transporte especializada no transporte de animais vivos, com ênfase nos processos operacionais e nos desafios enfrentados no dia a dia. Durante essa fase, foram realizadas entrevistas com gestores e operadores logísticos, além de visitas técnicas aos veículos e instalações utilizadas no transporte das cargas vivas. A coleta de dados foi feita por meio de observação direta, questionários e análise das condições dos veículos, dos procedimentos de carga e descarga, e do cumprimento das normas sanitárias e de segurança. Essa abordagem prática permitiu compreender como as práticas logísticas se alinham com as regulamentações e com as necessidades dos animais e plantas durante o transporte.

Por fim, a análise dos dados obtidos no estudo de caso foi realizada por meio da comparação entre a teoria e a prática observada. As informações coletadas foram organizadas e analisadas de forma qualitativa, identificando os pontos críticos e as melhores práticas adotadas pela empresa de transporte. A metodologia incluiu também uma análise crítica dos impactos das tecnologias de rastreamento e monitoramento, como sensores de temperatura e umidade, que estão sendo aplicados no setor. Para isso, foram examinados os resultados das entrevistas e os dados obtidos nas observações práticas, a fim de propor soluções e recomendações que visam melhorar a eficiência e segurança no transporte de cargas vivas. Ao final, os resultados foram organizados e apresentados de forma a contribuir para o entendimento e aprimoramento da logística de cargas vivas no contexto brasileiro.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no estudo de caso realizado com a empresa especializada no transporte de cargas vivas revelaram que a logística de transporte de animais e plantas

enfrenta desafios significativos em termos de infraestrutura, cumprimento das regulamentações e aplicação de tecnologias de monitoramento. Durante as visitas às instalações e entrevistas com os gestores e operadores logísticos, observou que a empresa possui um sistema de transporte bem estruturado, mas ainda há dificuldades na adaptação das práticas logísticas para atender plenamente às exigências sanitárias e de segurança.

Além disso, a análise dos dados indicou que a maioria das empresas de transporte de cargas vivas enfrenta dificuldades em adaptar seus processos logísticos às exigências das regulamentações sanitárias e ambientais, como as normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A não conformidade com essas regulamentações pode levar a multas e danos à reputação da empresa, além de comprometer a segurança e o bem-estar dos animais e plantas durante o transporte. O cumprimento das regulamentações é um dos principais desafios enfrentados pelas empresas de logística de cargas vivas, pois envolve o acompanhamento constante de mudanças nas leis e a implementação de novas medidas operacionais para garantir o cumprimento dessas exigências. A tabela abaixo sintetiza os principais desafios enfrentados pela empresa durante o transporte de cargas vivas, conforme identificado no estudo de caso:

Tabela 1 - Os principais desafios enfrentados pela empresa durante o transporte de cargas vivas

DESAFIOS	DESCRIÇÃO
Infraestrutura de Transporte	Falta de modernização na frota de veículos e infraestrutura inadequada para o transporte seguro e eficiente de cargas vivas.
Cumprimento das Regulamentações	Dificuldades em adaptar as operações às exigências legais e sanitárias, impactando na segurança e no bem estar das cargas vivas.
Tecnologia de Monitoramento	Ausência de tecnologias avançadas de rastreamento e monitoramento de condições climáticas (temperatura, umidade) durante o transporte.
Treinamento de Operadores	Carência de treinamentos regulares para os operadores, prejudicando a execução eficiente das tarefas e o manuseio adequado das cargas vivas.

Fonte: Autor (2025).

Os resultados também revelaram que a tecnologia de rastreamento e monitoramento tem se mostrado eficaz em melhorar as condições do transporte, especialmente no que se refere ao controle da temperatura e umidade. A empresa em questão já implementou sensores que monitoram esses parâmetros em tempo real, mas a tecnologia ainda é considerada insuficiente para garantir a totalidade das condições ideais de transporte, principalmente em viagens mais longas. De acordo, a implementação de sistemas de rastreamento modernos pode reduzir as perdas de cargas vivas, aumentar a eficiência do transporte e melhorar o nível de conformidade com as regulamentações. Esse dado corrobora a necessidade de um investimento maior em tecnologias de monitoramento que destacam a importância da integração desses sistemas com as plataformas de gestão logística para garantir um transporte mais seguro e eficiente.

Por fim, os dados coletados também evidenciam que a logística de cargas vivas, apesar dos desafios, possui um potencial significativo de melhoria com o avanço das tecnologias e a adaptação contínua às regulamentações. A utilização de novas tecnologias, como sensores de monitoramento e sistemas de rastreamento, combinada com um treinamento

adequado para os operadores e a modernização das frotas de transporte, são as principais recomendações para melhorar a eficiência e reduzir as falhas nos processos logísticos. A relevância desses resultados que afirmam que o desenvolvimento tecnológico e a conformidade com as regulamentações são fundamentais para a evolução da logística de cargas vivas e para o aumento da competitividade no mercado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar a logística de cargas vivas, com foco nos desafios enfrentados pelas empresas especializadas no transporte de animais e plantas. Através da revisão da literatura e da análise de dados coletados durante o estudo de caso, foi possível identificar as principais dificuldades enfrentadas por essas empresas, como a falta de modernização da infraestrutura, o não cumprimento das regulamentações sanitárias e a carência de tecnologias de monitoramento adequadas. As soluções apresentadas indicam que a adoção de tecnologias mais avançadas e a constante adaptação às normas vigentes são fundamentais para garantir a segurança e a qualidade no transporte de cargas vivas.

Os resultados indicam que, embora as empresas já adotem algumas medidas para melhorar o transporte de animais e plantas, ainda há uma grande lacuna no que diz respeito à infraestrutura de transporte e ao cumprimento das regulamentações legais. A falta de investimentos em tecnologias de rastreamento e monitoramento de temperatura e umidade é um dos maiores desafios. Contudo, a implementação de sistemas mais eficazes de controle e rastreamento poderia reduzir consideravelmente as perdas durante o transporte e garantir o bem-estar das cargas vivas, que destacam a relevância da modernização do transporte para melhorar a competitividade do setor.

Outro aspecto relevante abordado neste trabalho foi à importância do treinamento contínuo dos operadores logísticos. A análise dos dados evidenciou que a falta de qualificação dos profissionais envolvidos na logística de cargas vivas contribui para falhas operacionais, que podem resultar em perdas de animais e plantas durante o transporte. Portanto, uma abordagem mais rigorosa no treinamento e capacitação dos profissionais é essencial para assegurar a qualidade e a segurança no processo logístico. Nesse sentido, sugere que a qualificação dos trabalhadores é um dos pilares para o sucesso na logística de cargas vivas.

Além disso, a conformidade com as regulamentações sanitárias e ambientais foi identificada como um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas. Embora as normas sejam claras e bem estabelecidas, muitas empresas ainda encontram dificuldades para adaptar às suas operações diárias. Isso pode ser atribuído à falta de conhecimento sobre as mudanças nas leis e à resistência a modificações nos processos operacionais. A pesquisa revelou que, para enfrentar esse obstáculo, as empresas devem buscar maior integração com os órgãos reguladores e garantir que suas operações estejam alinhadas com as melhores práticas do setor.

Por fim, este trabalho contribui para a compreensão dos desafios e das oportunidades presentes na logística de cargas vivas, oferecendo soluções práticas e fundamentadas em evidências. A pesquisa realizada fornece uma base sólida para futuras investigações e para o desenvolvimento de novas tecnologias e processos que possam melhorar a eficiência e a segurança no transporte de animais e plantas. A evolução do setor depende da constante atualização das práticas logísticas e da aplicação de tecnologias inovadoras, que

garantirão um futuro mais sustentável e seguro para a logística de cargas vivas. Assim, as conclusões aqui apresentadas não só oferecem um panorama detalhado das questões atuais, mas também proporcionam direções claras para o aprimoramento do setor, com impacto positivo tanto para a sociedade quanto para a comunidade científica.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, J. L.; FERREIRA, M. F.; SOUSA, T. M.; PEREIRA, C. M. **Logística de Cargas Vivas:** Desafios e Oportunidades. Revista de Engenharia de Produção, v. 34, n. 2, p. 99-115, 2020.

[2] BARBOSA, F. R.; ALMEIDA, P. A.; SANTOS, A. M.; LIMA, D. P. **Logística de Cargas Vivas:** Desafios e Soluções Tecnológicas. Revista de Logística, v. 32, n. 2, p. 123-135, 2021.

[3] COSTA, R. S.; PEREIRA, L. F.; SOUSA, V. M.; SANTOS, G. P. **Capacitação Profissional na Logística de Cargas Vivas**. Journal of Transport and Logistics, v. 28, n. 4, p. 45-59, 2020.

[4] LIMA, M. T.; OLIVEIRA, T. F.; SOUZA, P. R.; SILVA, E. F. **Tecnologias e Inovações na Logística de Cargas Vivas**. Revista de Tecnologia e Inovação Logística, v. 11, n. 3, p. 78-92, 2020.

[5] OLIVEIRA, S. P.; SOUZA, F. A.; CUNHA, P. M. **Logística Verde no Transporte de Animais:** Práticas e Tendências. Journal of Green Logistics, v. 15, n. 3, p. 45-60, 2020.

[6] PEREIRA, J. L.; MORAIS, A. R.; COSTA, S. T.; ALMEIDA, L. C. **Regulamentações e Normativas no Transporte de Cargas Vivas**. Revista de Gestão Logística e Transporte, v. 22, n. 6, p. 210-224, 2022.

[7] SILVA, F. T.; OLIVEIRA, R. S.; MORAES, S. R.; COSTA, M. E. **Desafios Operacionais na Logística de Cargas Vivas**. Revista de Transporte e Logística, v. 33, n. 7, p. 56-70, 2019.

[8] SOUZA, D. F.; LIMA, A. R.; COSTA, J. B.; BARBOSA, R. E. **Eficiência na Logística de Cargas Vivas**. Revista Brasileira de Gestão e Negócios, v. 25, n. 5, p. 195-207, 2021.

Capítulo 3

Xampu sólido vegano detox à base de argila verde e óleo da castanha-do-brasil (bertholletia excelsa)

Thayssa Valéria Dantas de Abreu
Felipe Brito de Lima
Jamilly Rose Freitas Dias
Maria José Heloisa dos Santos Alves
Natália Esteves dos Santos
Shirley Cristina Cabral Nascimento
Marlice Cruz Martelli

Resumo: Com a crescente necessidade de desenvolver produtos menos agressivos ao meio ambiente e reduzir a geração de resíduos, empresas de cosméticos e higiene pessoal têm adotado processos produtivos mais sustentáveis, priorizando a gestão responsável dos recursos e a preservação da biodiversidade. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo produzir um xampu sólido natural e vegano, alinhado à cosmetologia verde, por meio de uma sovagem manual e uma formulação exclusiva, composta integralmente por ingredientes amazônicos. As caracterizações das matérias-primas foram realizadas incluindo análises físico-químicas, RMN, índice de iodo. Além disso, foram conduzidos testes de estabilidade para avaliar o potencial do cosmético. O xampu apresentou um pH de 6,4, levemente ácido. O óleo de castanha-do-Brasil utilizado atendeu aos padrões de qualidade estabelecidos. Nos testes específicos, o xampu demonstrou boa formação de espuma e densidade adequada, além de apresentar aspecto homogêneo, cor e odor característicos. A colorimetria indicou estabilidade da tonalidade ao longo do tempo e o teor de ácidos graxos esteve dentro dos parâmetros esperados. O produto mostrou resistência ao amolecimento em contato com a água, baixa formação de rachaduras e desempenho satisfatório no teste de envelhecimento acelerado. Sua capacidade de formação de barba foi avaliada positivamente, sugerindo boa aplicabilidade e eficácia. Dessa forma, o xampu em barra pode oferecer benefícios significativos, incluindo atividade antifúngica e cuidado adequado com o couro cabeludo, sendo uma alternativa sustentável e inovadora dentro da cosmetologia verde.

Palavras-chave: Xampu, Cosmetologia verde, Saúde capilar, Castanha-do-Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Hodiernamente, o mercado global está cada vez mais exigente e buscando produtos de higiene e cosméticos que aliem eficácia e sustentabilidade, acarretando um novo modo de produzir e consumir.

De acordo com a definição conferida pela legislação vigente, cosméticos, produtos de higiene e perfumes "são preparações constituídas por substâncias naturais ou sintéticas, de uso externo nas diversas partes do corpo humano, pele, sistema capilar, unhas, lábios, órgãos genitais externos, dentes e membranas mucosas da cavidade oral, com o objetivo exclusivo ou principal de limpá-los, perfumá-los, alterar sua aparência e ou corrigir odores corporais e ou protegê-los ou mantê-los em bom estado" (ANVISA, 2004).

Diferente de alguns produtos de cuidado e higiene pessoal, os cosméticos naturais podem ser mais simples de serem regularizados perante a vigilância sanitária. Isso porque utilizam em sua fórmula 95% de matérias-primas consideradas naturais, apresentando no máximo 5% de substâncias sintéticas na composição. Para ser comercializado, todo e qualquer cosmético precisa ser registrado ou notificado. Os cosméticos naturais, são considerados potencialmente mais seguros pelas suas características e ingredientes, que requerem apenas a notificação à ANVISA.

No Brasil, a ANVISA não regulamenta oficialmente a definição dos cosméticos veganos, entretanto a certificação pode ser obtida por diversas outras organizações responsáveis pela proteção dos direitos dos animais, como o Selo Vegano Brasileiro ou o Vegan Trademark da Vegan Society. Para isso, os produtos devem seguir um padrão de formulação para serem aprovados e certificados.

Um cosmético vegano é aquele que não possui em sua formulação qualquer ingrediente de origem animal, além de ser isento de testes realizados em animais. Vale ressaltar que um cosmético vegano não precisa necessariamente ser natural ou orgânico, apenas precisa seguir as orientações necessárias que livre o produto de exploração animal (Pharmaceutica Jr, 2021).

Segundo Dini e Laneri (2021), os cosméticos para serem considerados "verdes" precisam ter a sua produção isenta ou reduzida de componentes sintéticos, e com ingredientes ativos derivados de plantas e/ou minerais, além de ter sua cadeia produtiva sendo realizada de forma sustentável. Diante disso, houve a concepção e elaboração de um produto com ingredientes oriundos da Amazônia.

A escolha estratégica do óleo da castanha-do-Brasil como ingrediente principal demonstra um compromisso com a Amazônia, pois, ao valorizar ingredientes locais, tal escolha impulsiona a economia regional. Essa abordagem alinha-se à crescente demanda por produtos naturais sustentáveis, sem prejudicar aspectos técnicos essenciais, desde a formulação até o processo de produção e qualidade do produto. A proposta de desenvolver um cosmético transcende o âmbito empresarial, contribuindo para a conscientização ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi o de produzir um xampu sólido vegano, detox à base de argila verde e óleo da castanha-do-Brasil atendendo a três pilares: eficácia, sustentabilidade e impacto econômico positivo. Outrossim, o xampu sólido vegano oferecerá uma alternativa eficaz aos produtos sustentáveis, já que, ao eliminar o uso de ingredientes químicos na sua formulação, o produto minimiza o impacto ambiental e garante uma experiência de cuidado capilar mais natural e saudável.

2. MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO DO MATERIAL VEGETAL

As amostras de castanha-do-Brasil foram obtidas por meio de doação. Os processos de limpeza, redução de tamanho e secagem, foram aplicados à matéria-prima. Para a extração do óleo utilizou-se o método de prensagem mecânica a frio, com a finalidade da obtenção de um produto 100% puro e sem adição de solventes.

Seguindo o método de Vasconcelos (2010) no seu estudo, para aumentar o rendimento nesse tipo de extração, é necessário que a matéria-prima passe por alguns tratamentos antes da prensagem, como redução de tamanho e aquecimento. A vantagem deste procedimento é sua facilidade de manuseio e o baixo custo, pois não há utilização de solventes. A desvantagem é a não remoção total do óleo presente na matéria-prima, sendo necessário outra metodologia para a remoção completa dos lipídios excedentes.

A manteiga de murumuru foi adquirida através de doação e as sementes de alecrim, argila verde e breu branco foram compradas em mercado local.

2.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALECRIM

Para a extração do óleo essencial foram utilizados 50 g de sementes, no qual foram adicionadas em um balão de fundo redondo com 500 mL de água destilada e colocado em uma manta aquecedora acoplado a um aparelho de Clevenger, para iniciar a extração, que teve a duração de 1 h, sendo realizadas 5 corridas, devido ao baixo rendimento do óleo essencial. O mesmo procedimento foi feito por meio da hidrodestilação, a fim de ser empregado como fragrância e princípio ativo.

A metodologia de extração de óleo essencial por hidrodestilador foi escolhida para este estudo por possuir uma boa relação custo-benefício, considerando custo, facilidade de operação, tempo e rendimento. Para que o óleo essencial fosse separado após a extração, a essência passou por processo de centrifugação em centrífuga da marca Centribio, utilizando-se Força G.

Com a extração do óleo essencial, gerou-se o hidrolato, que é considerado um subproduto e, visando a sua utilização, foram preconizadas análises para checar e avaliar seu potencial em cosméticos e aplicado no condicionador sólido do presente estudo em substituição da água destilada, com o efeito de potencializar o cosmético, assim como agregar para a sustentabilidade ao meio ambiente.

2.3. CARACTERIZAÇÕES DO ÓLEO VEGETAL E MANTEIGA

O óleo vegetal de castanha-do-Brasil e a manteiga de murumuru foram caracterizados pelas análises físico-química (índice de acidez, peróxido e saponificação).

a) **Índice de Peróxido**

Para determinar o índice de peróxido, foram medidas 4 gramas da amostra em um erlenmeyer, em seguida foram adicionados 30 mL de solução de ácido acético-clorofórmio (3:2) e 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio, para então

tampar e deixar em repouso por 1 minuto. A seguir, colocou-se 30 mL de água deionizada e titulou-se com a solução de tiossulfato 0,1 M ou 0,01 M sob agitação constante até o desaparecimento da coloração azulada. Foi necessário realizar uma prova em branco nas mesmas condições (Lutz, 2008). O cálculo do índice de peróxido foi realizado de acordo com a equação 1

$$IP = \frac{(V-B)*C*F}{m} \qquad \text{Eq. 1}$$

Em que: V = volume gasto na titulação da amostra; B = Volume gasto na titulação do branco; C = Concentração da solução de tiossulfato; F = Fator de correção da solução; de tiossulfato; M = massa da amostra

b) **Índice de Acidez**

É um método usado para determinar o valor de ácidos das diversas substâncias presentes na amostra, pois quanto maior o tempo de contato de impurezas com o material graxo maior a tendência de elevar a acidez. Pesou-se 2 g da amostra em um erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 25 mL de solução de éter-álcool (2:1) neutra. Colocou-se duas gotas do indicador fenoltaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, até o aparecimento da coloração rósea, a qual deverá persistir por 30 segundos. É calculado através de uma titulação, que define o número de miligramas de hidróxido de sódio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres de uma amostra (Lutz,2008). Como mostrado na equação 2:

$$IC = \frac{v*F*6{,}61}{P} \qquad \text{Eq. 2}$$

Em que: v= volume de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação; F= fator de correção da solução de hidróxido de sódio; P= n° de g da amostra.

c) **Ressonância Magnética Nuclear (RMN)**

Para o preparo da amostra, misturou-se 100µL de matéria-prima para 600µL de solvente deuterado. Em seguida, as amostras foram armazenadas em tubo de vidro borossilicato 5.1 e levadas para a Central de Extração, para colocar no equipamento de Ressonância Magnética Nuclear, marca Bucker, modelo Ascend 400 e dessa forma, foi possível obter os espectros relacionados ao hidrogênio (com número de *scans* em 20) e carbono (com número de *scans* em 5120) (Reda, 2006). Análise realizada para índice de iodo e saponificação.

– **Índice de Iodo e Índice de Saponificação**

Inicialmente, para o cálculo do índice de iodo e do índice de saponificação, utilizou-se os valores de integração determinados pelo espectro nas equações 3 e 4, para calcular a área do próton (Ap) e da quantidade de prótons olefínicos, respectivamente.

$$A_p = \frac{i+h}{4} \qquad \text{Eq. 3}$$

$$P = \frac{[k+j]-A_p}{A_p} \qquad \text{Eq. 4}$$

Em seguida, foi realizado o cálculo de todos os prótons equação 5 e o cálculo do peso molecular médio dos triacilgliceróis (PM) equação 6.

$$V = \frac{a+b+c+d+e+f+g+h+i+j+k}{Ap} \qquad \text{Eq.5}$$

$$PM = 119{,}7 + 7{,}036 * T + 5{,}983 * V \qquad \text{Eq. 6}$$

O índice de iodo (I.I), equação 7 e o índice de saponificação (I.S), equação 8 foram determinados a partir do espectro de RMN H^1 integrado, conforme as equações descritas por Joseph-Nathan (1982):

$$I \cdot I = \frac{126{,}91*100*v}{PM} \qquad \text{Eq. 7}$$

$$I \cdot S = (-0{,}2358 * PM) + 398{,}42 \qquad \text{Eq. 8}$$

2.4. FORMULAÇÃO DO XAMPU SÓLIDO

Os componentes usados para a formulação do xampu estão na Tabela 1.

Tabela 1: Formulação do xampu em porcentagem

Matérias Primas	%
Isetionato de Sódio	50-60
Plantarem 2000	10-20
Óleo de castanha-do-Brasil	1-10
Manteiga de Mururmuru	1-10
Argila Verde	1-10
Hidrolato de Alecrim	5-10
Extrato Oleico de Breu Branco	5-10
Óleo essencial de alecrim	0,1-2

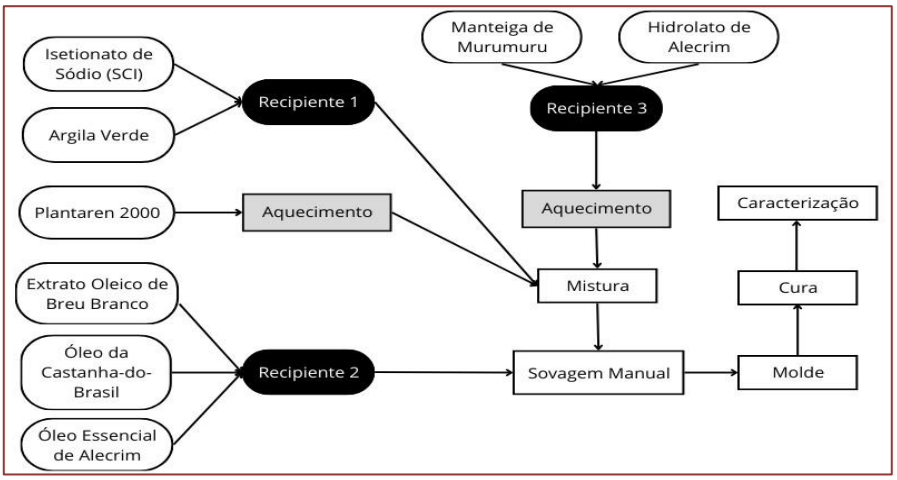
Fonte: autores (2024).

Em um béquer mediu-se a massa de isetionato de sódio, em seguida, a de plantaren 2000. Em outro recipiente distinto, adicionou-se os compostos oleosos, como as massas do extrato oleico de breu branco, o óleo da castanha-do-Brasil e o óleo essencial de alecrim, e misturados, sendo esta mistura também reservada. Em outro béquer, a massa da manteiga de murumuru e do hidrolato de alecrim foram medidas. Os componentes foram submetidos a aquecimento em uma chapa aquecedora até a completa homogeneização da mistura. A argila verde foi incorporada à mistura e o SCI previamente reservados, além do plantaren 2000, após este ter sido aquecido.

Subsequentemente foi realizada a limpeza e esterilização da bancada com álcool, que posteriormente foi revestida com papel filme. Utilizando luvas e máscara, a mistura elaborada foi cuidadosamente retirada do recipiente e disposta na bancada previamente preparada, onde foi sovada manualmente até adquirir consistência. À medida que a massa era sovada, a mistura de óleos e extrato oleico era sendo acrescentada gradualmente. Uma vez que a massa atingiu a consistência e

homogeneização necessárias, foi coberta com papel filme e comprimida em um molde. Após a retirada do molde, a massa foi colocada em um congelador por um período de 10 a 30 minutos para obtenção da solidificação necessária do produto final, em posterior, foi deixado para curar durante 48 horas, para caracterizações posteriores. A Figura 1 mostra o fluxograma da produção do xampu.

Figura 1: Fluxograma da produção do xampu



Fonte: Autores (2024).

Após as extrações e análises de caracterização dos parâmetros físico-químicos nas gorduras, óleo essencial e hidrolato, iniciou-se a produção dos xampus sólidos com a metodologia previamente formulada. Foram realizadas seis corridas para ajustes de formulação, estabilidade, dureza, cor, transparência e cheiro. Posteriormente, os xampus, colocados nos moldes, foram deixados em repouso até atingir a dureza desejada.

2.5. CARACTERIZAÇÕES DO XAMPU

Para a caracterização do xampu sólido, realizou-se os ensaios físico-químicos de determinação do pH, além dos ensaios organolépticos de aspecto, cor e odor.

As análises de pH, ácidos graxos, colorimetria, e outras análises químicas e físicas e caracterizações de estabilidade como: amolecimento em água, rachadura, envelhecimento acelerado e formação de barba, são de fundamental importância para a indústria de cosméticos e devem seguir criteriosamente as recomendações dos órgãos de vigilância sanitária.

O controle de qualidade não se deve limitar às operações laboratoriais, mas, abranger todas as decisões relacionadas à qualidade do produto (ANVISA, 2008).

a) **pH**

A metodologia proposta no Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos da ANVISA (2008) com adaptações, foi aplicada para a determinação do pH. Preparou-se uma solução a 10%, medindo 2 g do xampu e dissolvendo em 20 mL de água destilada. Aferiu-se o resultado.

b) **Aspecto Visual**

Para a execução desta análise do produto, utilizou-se como base o método descrito pela ANVISA. Em que foi observado visualmente se a amostra em estudo manteve as características "macroscópicas" das duplicatas ou se ocorreram alterações como separação de fases, precipitação, turvação, entre outros (ANVISA, 2008).

c) **Análise de Odor**

A análise de odor foi realizada comparando-se as duplicatas, acondicionadas no mesmo material de embalagem diretamente através do olfato (ANVISA, 2008).

d) **Colorimetria**

Para determinação de cor, foi utilizado um colorímetro Chroma Meter CR - 400 /Marca: Konica Minolta, operando no sistema CIELAB (L*, a*, b*), onde (L) representa a luminosidade (L*) (L* = 0 preto e L* = 100 brancos); (a) define a transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*) e (b) representa a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

Com base nestas coordenadas, fez-se o cálculo para a variação total da cor (ΔE*), ao passo que o índice de saturação (C*) e o ângulo de tonalidade (h*) foram expressos pelo equipamento, e foi realizado no LAPOA – Laboratório de Produtos de Origem Animal, no prédio de Engenharia de Alimentos/UFPA (Ferreira, 2017).

e) **Densidade**

Adicionou-se 25 mL de água destilada em provetas de 50 mL, nas quais foram adicionadas, cuidadosamente, cerca de 2 g de cada amostra, que foram previamente pesadas com precisão de 0,01 g, até a submersão total. Realizando a leitura do volume da água juntamente com o xampu. Para calcular o volume do sólido, subtraiu-se o volume da água inicial do volume final conforme a equação 10. Com o resultado do volume do sólido, calculou-se a densidade do sólido com base na equação 11.

$$Vsólido = Vfinal - Vinicial \qquad \text{Eq. 10}$$

$$\rho\ sólido = \frac{m\ sólido}{v\ sólido} \qquad \text{Eq. 11}$$

Em que: = volume inicial, $Vfinal$= volume final, = volume do sólido, $\rho sólido$= densidade do sólido, $msólido$= massa do sólido.

f) **Material Insaponificável**

Embora originalmente desenvolvido para óleos e gorduras, o método AOCS Ca 6a-40 (1997), pode ser adaptado para a análise de cosméticos sólidos que contêm componentes lipídicos, como sabonetes e xampus.

Para a determinação de material insaponificável mediu-se de 2 a 2,5 g do material, adicionou-se 25 mL de etanol e 1,5 mL de solução aquosa de KOH a 50%. Aqueceu-se o sistema sob refluxo até o total de saponificação da amostra (30 min). Depois, transferiu- se o conteúdo do balão para o funil de separação, adicionou-se parte dos 50 mL de água destilada ao balão, para auxiliar na transferência de todo o material ao funil. Em seguida, adicionou-se 50 mL de éter etílico ao funil, fechou-se e agitou-se vigorosamente. Aguardou-se a separação das fases, e quando ocorreu, foi aberta a torneira e transferiu-se a fase inferior, fase aquosa (contendo ainda insaponificável) para o funil. Efetuou-se mais 2 extrações, juntou-se os extratos etéreos no funil e lavou-se com 20 mL de água destilada quantas vezes foram necessárias até que a água de lavagem estivesse neutra à fenolftaleína. A fase etérea foi transferida para um recipiente tarado e aguardou-se evaporar o solvente, em seguida, o extrato foi seco até o peso constante.

O teor de material insaponificável foi determinado gravimetricamente através da equação 12:

$$TIS = \frac{A-B}{P} \times 100 \qquad \text{Eq. 12}$$

Em que: A = massa do recipiente contendo o extrato; B = massa do recipiente vazio; P = massa da amostra inicial.

g) **Formação de Espuma**

A partir de uma adaptação do teste de Ross-Miles (Cheah e Cilliers, 2005), foram preparados 50 mL de solução a 2% de cada formulação testada, utilizando água deionizada isenta de dureza. A solução foi transferida para uma proveta de 50 mL sendo esta invertida 10 vezes, em movimentos sincronizados. Imediatamente após essa operação, determinou-se a altura (milímetros) de espuma formada, repetindo

posteriormente essas determinações com intervalos de 5 minutos por mais duas vezes. Os valores obtidos com as preparações em estudo foram comparados com os valores das alturas de uma solução de lauril sulfato de sódio a 2% usada como padrão. O ensaio foi realizado sob temperatura ambiente.

h) **Ácidos Graxos**

Amostras de 5 g de condicionador foram colocadas em um béquer de 250 mL e foram adicionados 50 mL de água destilada e 50 mL de álcool etílico. Aqueceu-se a mistura formada em banho-maria ou chapa de aquecimento até a completa dissolução da amostra. Transferiu-se quantitativamente a solução para um funil de separação de 500 mL, lavando o béquer com porções de água destilada e álcool etílico, não permitindo que o volume ultrapasse um total de 160 mL. Adicionou-se três gotas do indicador alaranjado de metila e neutralizou-se a solução com algumas gotas de

ácido sulfúrico (1:4), adicionando um pequeno excesso.

Lavou-se o béquer com 50 mL de éter de petróleo e transferiu-se para um funil de separação de 500 mL contendo a solução. Agitou-se vigorosamente e deixou-se em repouso, a fim de obter a separação das duas fases. Recolheu-se a fase aquosa no béquer inicial e a fase etérea em outro funil de separação de 500 mL. Lavou-se a fase etérea, contida no funil de separação, com água destilada, até a neutralização da água de lavagem, utilizando alaranjado de metila como indicador. Transferiu-se a fase etérea neutralizada para um béquer previamente tarado. Evaporou-se a solução até a secura em banho-maria ou chapa de aquecimento e levou-se para estufa a 105°C, até atingir peso constante (ANVISA, 2008). Após o procedimento utilizou-se a equação 13:

$$C = \frac{p*100}{m} \qquad \text{Eq. 13}$$

Em que: C = concentração (p/p) de ácido graxo total; p = massa do resíduo seco em gramas; m = massa da amostra em gramas.

i) **Amolecimento em Água**

Mediu-se a massa da barra inteira do cosmético sólido e colocou-a em um disco de Petri, de modo que, a face maior ficasse na posição horizontal. Em seguida, adicionou-se 35 mL de água e deixou-se em contato e repouso, durante 12 horas, em temperatura ambiente. Após o período indicado, removeu-se a barra de modo a limpa- lá com um papel para remoção completa de todo o material mole e gelatinizado presente nas superfícies. Mediu-se a massa da barra após a limpeza. Para obtenção do valor em porcentagem dos testes em amolecimento em água, aplicou-se a seguinte equação 14 (Rittner,1995):

$$IA = \frac{A-B}{A}\ x\ 100 \qquad \text{Eq. 14}$$

Em que: IA= índice de amolecimento; A= valor da barra inteira; B=valor da barra após as 12 horas.

j) **Formação de Rachadura**

Reduziu-se o condicionador sólido à espessura de aproximadamente 6 mm e em um recipiente de plástico, cobriu-se o produto até metade da sua altura com água comum. Deixou- se em imersão por 30 minutos, retirando a amostra e deixando-a secar a temperatura ambiente com a face que foi submersa voltada para cima. Após a secagem, examinou-se a superfície e as bordas observando a presença de fissuras. Este método permite uma avaliação qualitativa da plasticidade do condicionador sólido, expressa pelo aparecimento de rachaduras na amostra em teste (Rittner, 1995).

A finalidade do teste foi o de avaliar a manutenção de suas propriedades físicas ao longo de seu período de uso, já que rachaduras e fissuras, embora não afetem a funcionalidade do produto, tornam-no pouco atrativo e com aspecto desagradável

(Malagoli e Lima, 2012).

k) **Método de Envelhecimento Acelerado**

Este método permite uma avaliação rápida do possível estado de uma amostra de sabão, que permaneça 1 ano em condições normais de estocagem.

O procedimento consistiu em colocar uma amostra do produto, em sua forma original, em um vidro de relógio de tamanho adequado para contê-la. Então, colocou-se essa amostra em estufa, pré-ajustada para manter uma temperatura de 51,5°C. Manteve- se a amostra na estufa durante 14 dias a 51,5°C, condições essas equivalentes a uma estocagem de 360 dias em condições normais. Ao final, a amostra foi examinada no que diz respeito a descoloração, presença de manchas, existência de odores desagradáveis e granulosidade superficial. A avaliação foi unicamente qualitativa, podendo ser útil na antecipação de eventuais problemas decorrentes de estocagem prolongada; testes comparativos entre produtos podem dar informações importantes sobre níveis comparativos de qualidade.

l) **Formação de "barba"**

Esse teste permite detectar a tendência do produto de formar "barbas" (películas superficiais brancas) ou "cabelos" (filamentos) em sua superfície, durante a estocagem.

O processo consistiu em colocar um pouco de água no fundo de um tubo de vidro de diâmetro grande, capaz de ser fechado por uma amostra de produto a testar. Fechar completamente a boca do tubo, usando o pedaço do produto, que constitui a amostra. Deixar o tubo fechado, em posição vertical, em um ambiente seco.

Após alguns dias, foram observadas as superfícies do produto, uma secada em ambiente seco e outra secada em ambiente úmido, para detectar a eventual formação de películas ou filamentos superficiais (Rittner, 1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra uma das amostras do xampu sólido produzido.

Figura 2: Xampu sólido produzido a partir de manteiga de murumuru, óleo de castanha- do Brasil, óleo essencial de alecrim, hidrolato de alecrim, argila verde e breu branco

Fonte: Autores (2024).

3.1. EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALECRIM

Após as seis corridas de extrações de óleo essencial, o rendimento, foi correspondente ao esperado, obtendo-se 6mL do mesmo. A extração do óleo essencial de alecrim, resultou no seu hidrolato, que é considerado um subproduto, como citado por Rajeswara Rao (2012). Tendo um rendimento de 50 ml por corrida, totalizando 350 ml de hidrolato.

3.2. CARACTERIZAÇÕES NO ÓLEO VEGETAL E MANTEIGA

A Tabela 2 contém os resultados encontrados para os índices do óleo vegetal e manteiga estudados e as referências encontradas na literatura para esta medição.

Tabela 2: Análises de índice de acidez e peróxido

Amostras	Índice Acidez (mg KOH.g^{-1})	Literatura	Índice de Peróxido (meq O^2 /Kg)	Literatura
Óleo da castanha do Brasil	2,5	0,5 a 8 mg KOH/g (ANVISA, 2005)	2,84	Máx. de 15 meq O^2 /Kg (ANVISA, 2005)
Manteiga de murumuru	3,7	2 e 8 mg KOH/g (ANVISA, 2005)	9,7	Máx. de 15 meq O^2 /Kg (ANVISA, 2005

Fonte: Autores (2024).

Os índices de peróxido e acidez, quantificam os estágios de degradação dos óleos e gorduras. Estes resultados, mostraram-se dentro dos padrões recomendados pela IN nº 87 da ANVISA (2022). O índice de acidez mede a quantidade de hidróxido de sódio (mg) necessária para neutralizar os ácidos graxos livres (AGL) presentes em 1g de óleo, avaliando a deterioração do produto. Já o índice de peróxido verifica o nível de oxidação dos óleos, sendo valores menores mais adequados para consumo devido à preservação do odor, sabor e qualidade nutricional.

Como observado na Tabela 2, os valores acimas encontrados estão em conformidade com os da literatura e com a ANVISA (2005). Desta forma, os óleos estão aptos ao consumo ou serem utilizados em cosméticos. Valores referentes ao índice de acidez e peróxido conforme ANVISA, óleos prensados a frio e não refinados: máximo 5,0 mg KOH/g em relação ao índice de acidez; em relação ao índice de peróxido, óleos prensados a frio e não refinados: máximo 15 meq O^2 /Kg, e este índice quanto menor o valor, mais adequado ao consumo.

3.3. RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN)

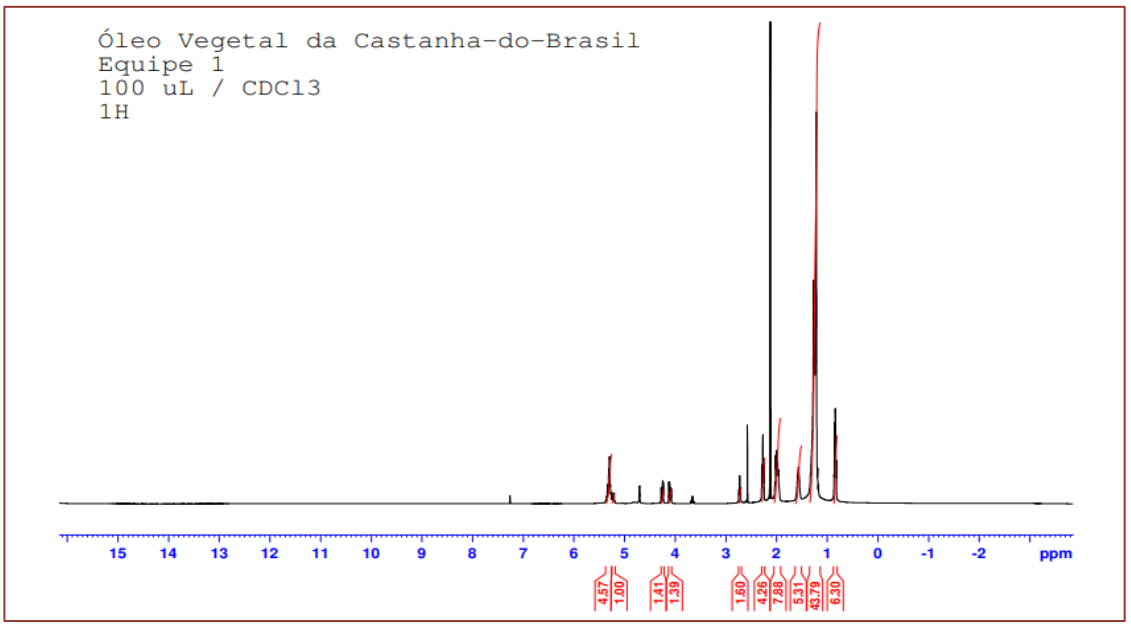
A partir do espectro de RMN de H^1 integrado, pode-se observar a medida direta do grau de insaturação. Os hidrogênios metílicos – parte insaturada da molécula – mostram deslocamento químico entre (δ) 0,7973 e 0,8608 ppm enquanto os hidrogênios olefínicos apresentaram um deslocamento químico (δ) entre 5,2650 e 5,3654 ppm. Dessa forma, o número de total de insaturação, em números de ligações duplas/mol, é a medida direta da área dos picos normalizados e integrados, dos hidrogênios que geraram os sinais, nas regiões de RMN de H^1 como observado em (Mannina *et al*., 2003).

Como o espectro de RMN de H^1 dos triacilgliceróis foi bem definido e característico, os prótons presentes puderam ser identificados facilmente. Portanto, os prótons metilênicos do glicerol estão em (δ)4,0496 – 4,2835 ppm e o H-2 prótons metilênicos no intervalo de deslocamento (δ)5,2926 – 5,2555 ppm como em (Vigli *et al.,* 2003).

Os prótons alílicos internos, apresentaram-se em (δ)2,6847 – 2,7466 ppm, enquanto no deslocamento (δ)1,9374 – 2,0276 ppm corresponde aos prótons alílicos externos, já os prótons β-carboxílicos e os prótons α-carboxílicos são identificados, respectivamente, em (δ)1,5493 – 1,5728 e (δ)2,2209 –2,2960. Os prótons metilênicos dos ácidos graxos presente no triacilglicerol é caracterizado por um cluster de picos sobrepostos em (δ)1,1762 – 1,2621 e centrado em 1,2191 ppm como observado em (Vigli *et al*., 2003).

O pico de deslocamento em (δ)2,05 corresponde à solvente acetona, que é utilizado no processo de limpeza do tubo de RMN, na qual não secou completamente e apresentou um pico com intensidade relevante. O resultado de RMN está apresentado na Figura 3.

Figura 3: Espectro de Hidrogênio por Ressonância Magnética do Óleo da Castanha-do-Brasil



Fonte: Autores (2024)

É possível calcular a curva de integração, a partir desses resultados e determinar o cálculo correto do índice de iodo e o índice de saponificação por RMN de H^1. A seguir é mostrada a Tabela 3 com os valores de integração.

Tabela 3: Valores de integração dos sinais de hidrogênio dos triacilgliceróis

Matéria-prima	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k
Castanha-do -Brasil	6,2988	0	43,7942	5,3143	7,8834	4,2567	1,6018	1,3907	1,4090	1	4,5657

Onde: a = prótons metílicos, b = prótons metílicos de ácido linolênico; c = prótons metilênicos dos ácidos graxos do triacilglicerol; d = prótons β-carboxílicos; e = prótons alílicos externos; f = prótons α-carboxílicos; g = prótons alílicos internos; h + i = prótons metilênicos do glicerol; j = prótons H-2 metilênicos do glicerol; k= prótons olefínicos

Altos níveis de iodo indicam a existência de quantidades consideráveis de ácidos graxos insaturados e maiores possibilidades de rancidez oxidativa, o índice de iodo obtido foi de 94 I2/100 g. Em sua pesquisa, Queiroga Neto *et al.* (2009) utilizaram a técnica de extração por prensagem, resultando em um índice de iodo de 97,8 I2/100 g, enquanto Schons (2017) registrou um valor de 85,8 I2/100 g, indicando que o valor determinado para o óleo da Castanha-do-Brasil está de acordo com a literatura.

Ademais, a discrepância observada pode sugerir que o método empregado por Schons tenha degradado algumas insaturações, levando a uma redução nos valores de absorção de iodo.

Como o índice de saponificação é inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes em amostras de óleos e gorduras, o valor encontrado foi de 177 mg KOH/g, portanto, sendo menor que 198,58 mg KOH/g, relatado por Ferreira *et al*. (2006).

3.4. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DO XAMPU ESTABILIZADO

Análises das características organolépticas do xampu foram realizadas por meio de um procedimento simples, porém fundamental para o controle de qualidade, com a observação do produto durante o processo de estabilização. O xampu demonstrou estabilidade satisfatória, observou-se que o xampu ficou com um cheiro agradável, com um aspecto visível de boa aceitabilidade conforme a proposta de um potencial xampu dito.

Conforme Oliveira (2021), alterações na formulação podem modificar a cor e o odor do produto, causando desconforto ao consumidor. Essas mudanças podem comprometer as vendas, considerando que o olfato é o terceiro sentido que mais influencia a decisão de compra de um produto.

3.5. PH

Com relação ao pH, de acordo com Castro, Silva e Madureira (2019), o valor recomendado para o xampu é na faixa entre 4,0 e 5,0, sendo compatível com o pH do cabelo. O pH medido para o xampu em barra foi de 6,4, o que está acima do ideal.

No entanto, xampu neutro ou levemente ácido é mais eficaz que um alcalino, pois terá uma boa atividade antifúngica e bom cuidado com o couro cabeludo (Lopes, Castilho e Castro, 2019).

3.6. COLORIMETRIA

A partir da análise colorimétrica, com base no estudo de Hunter e Harold (1987), com adaptações, percebeu-se que o produto evidenciou um valor de -5,63A* para a cor com predominância leve do verde e para a cor com predominância moderada do amarelo com coeficiente B* igual a 10,55. Apresentando saturação de cor igual a 11,79C*. Além disso, expôs resultado de 45,24L* para luminosidade total, neste caso indica uma luminosidade moderada, o que sugere que o produto tem uma aparência média em termos de brilho. E o parâmetro 28,9ΔL*, indica a diferença em luminosidade em relação a um padrão ou valor inicial. Quanto maior o ΔL*, mais clara ou mais escura será a cor em comparação ao padrão enquanto o ângulo de tonalidade foi de 117,94h°, com isto sugere uma cor com saturação relativamente baixa, indicando uma tonalidade entre verde e amarelo, sendo coerente com os valores negativos de A* e B*.

3.7. ANÁLISES DO XAMPU ESTABILIZADO (TEOR DE ÁCIDO GRAXO, DENSIDADE, ESPUMA E MATERIAL INSAPONIFICÁVEL)

Tabela 4: Análises de teor de ácidos graxos, densidade, espuma e material insaponificável

Análises	Resultados	Literatura
Teor de ácidos graxos	50,3206 %	Não encontrado
Densidade	0,353 g/cm³	0,90 a 1,20 g/cm³ (ANVISA, 2021)
Espuma	55 mL	Não encontrado
Material insaponificável	0,8%	0,1 % a 0,5% (Disegna, 2013)

Fonte: Autores (2024)

A análise foi realizada seguindo o Guia de Controle de Qualidade de Cosméticos da ANVISA (2008). Não foi identificada uma faixa de aceitação específica para o teor de ácidos graxos em xampus e condicionadores. No entanto, a ANVISA regulamenta os ingredientes permitidos e proibidos nessas formulações. Embora não haja um parâmetro definido, a presença de ácidos graxos em cosméticos capilares contribui para a hidratação, condicionamento, funcionalidade dos condicionadores e proporciona surfactantes suaves.

Para sabonetes, a ANVISA (2008) estabelece que o teor de ácidos graxos deve estar entre 60% e 80% do total de óleos e gorduras utilizados no processo de saponificação. Neste estudo, o teor de ácidos graxos determinado foi de 50,3206%, conforme a metodologia previamente descrita.

A densidade já foi estudada e estipulada como parâmetro de qualidade para a indústria de sabonete, onde os limites aceitáveis foram definidos como variando de 0,90 a 1,20 g/cm³ (ANVISA, 2008). Sendo adaptado para o xampu sólido, uma vez que o mesmo foi produzido a base de óleos e manteiga e densidade do cosmético pode variar dependendo dos ingredientes. Com isto, foi se determinado que o produto final está de acordo com ANVISA, por estar dentro da faixa de aceitação.

O teste de espuma é importante para avaliar a qualidade e eficácia do produto, uma vez que a espuma é uma das principais características esperadas pelos consumidores em um sabonete. De certa maneira, a quantidade e qualidade da espuma pode influenciar na capacidade de limpeza e sensação de conforto durante a utilização do sabonete (Almeida et. al, 2017; (Barziban *et.al*., 2013).

Observou-se que após a agitação, a espuma cobriu quase todo volume da proveta, o volume da espuma foi superior ao próprio volume do líquido. Sendo comprovado o alto poder espumante do xampu. Este alto poder espumante é derivado SCI, que possui alta capacidade de formação de espuma. Sendo um surfactante em pó feito de ácidos graxos de coco renováveis que é totalmente biodegradável.

A ANVISA não especifica diretamente uma faixa de matéria insaponificável para cosméticos em suas resoluções públicas. Com base nos estudos de Disegna (2013), as faixas comuns para sabões de matéria insaponificável são no mínimo 0,1 % e o máximo 0,5%. Sendo adaptado para o presente estudo, foi determinado que o xampu se encontra com material insaponificável acima do especificado, conforme está descrito na Tabela 4.

3.8. ANÁLISES FÍSICAS DO XAMPU ESTABILIZADO (FORMAÇÃO DE RACHADURAS, FORMAÇÃO DE BARBA, AMOLECIMENTO EM ÁGUA E ENVELHECIMENTO ACELERADO)

Conforme a, Resolução RDC nº 7, de 10 de fevereiro de 2015; estabelece que todos os cosméticos, incluindo sabonetes em barra, devem ser submetidos a testes rigorosos para garantir que sua formulação, não cause danos ao consumidor (ANVISA,2015). Desta forma, foram aplicadas análises físicas descritas na Tabela 5, para efeito de estabilidade do cosmético.

Tabela 5: Resultados das análises físicas

Análises físicas	Resultados Obtidos
Formação de rachaduras	Ausência
Formação de barbas	Ausência
Amolecimento em água	4,05%
Envelhecimento acelerado	Presença

Fonte: Autores (2024).

Conforme os testes aplicados, não houve a presença de formação de rachaduras, indicando que não houve presença de ar na massa. Os cosméticos sólidos, de maneira geral, absorvem umidade quando deixados em contato contínuo com água após seu uso. Esta absorção leva à formação de um material gelatinoso também denominado *mush* (goma) e *jelly* (gelatina), usualmente observado nos sabões quando em uso normal. Tecnicamente indicam particularidades do processo de fabricação e da composição do produto (Moraes, 2007). A média dos resultados foi de 4,056% confirmando que o produto é de boa qualidade, segundo Zanin (2001), o limite de perda de peso em água é de 4% Apesar de este valor estar acima do limite, o produto ainda apresenta estabilidade.

Para o consumidor esta característica está relacionada à menor durabilidade e, quanto maior for a formação do material gelatinoso, maior será a tendência de desgaste do produto sendo, portanto, o amolecimento e a taxa de desgaste interdependentes. Na análise de formação de barbas, o xampu, sem perder qualidade, odor ou eficiência, apresentou médias manchas brancas. Segundo Rittner (1995), isso ocorre quando a deposição de gotas de água na superfície do sabão sólido, surge uma pressão osmótica que tende a fazer os eletrólitos migrarem do interior da barra de sabão para zona externa de maior umidade.

Durante o teste de envelhecimento acelerado, observou que a barra do xampu envelheceu ficando com uma aparência pouco agradável, uma forma ressecada, o tom de verde ficou um pouco mais acentuada, o cheiro não foi alterado e como seu poder de lavagem continuou, teve uma perda de 50% do seu peso inicial (Pi= 90,82gr) para peso final (Pf= 63,58).

4. CONCLUSÃO

Os testes de caracterização e estabilidade do produto foram fundamentais para validar a formulação, indicando que o xampu em barra desenvolvido tem potencial para se tornar um futuro cosmético inovador. Os resultados obtidos reforçam a viabilidade e o potencial do óleo de castanha-do-Brasil como um ingrediente

funcional na indústria cosmética, destacando seu valor agregado na formulação de produtos capilares. Embora o pH medido tenha sido 6,4 ligeiramente acima das recomendações da literatura, é importante ressaltar que formulações neutras ou levemente ácidas são bem aceitas e eficazes para a saúde capilar.

Ressaltando que a aplicação de matérias-primas totalmente veganas e amazônicas, como a argila verde, manteiga de murumuru, óleo da castanha-do-Brasil, breu branco e o óleo alecrim proporcionaram ao xampu benefícios significativos, incluindo propriedades antifúngicas, antioxidantes, redução de oleosidade, detox, hidratação, brilho fortalecimento dos fios, ação estimulante, relaxante, aroma e, consequentemente, um cuidado adequado para o couro cabeludo.

A relevância da pesquisa para desenvolvimento de produtos sustentáveis foi de extrema importância para alavancar o ODS12 com o uso eficiente dos recursos naturais, além de apresentar eficácia e impacto econômico positivo.

REFERÊNCIAS

[1] ANVISA Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos - Uma abordagem sobre os ensaios físicos e químicos (2008). Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/ptbr/centraisdeconteudo/publicacoes/cosmeticos/manuais-e- guias/guia-de-controle-de-qualidade-deprodutos-cosmeticos.pdf/view

[2] ANVISA Resolução n°482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1999.

[3] ANVISA. ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução. RDC nº 270, de 22 de Setembro de 2005. Diário Oficial, Brasília – DF, 2005.

[4] A INDÚSTRIA DE INSUMOS QUÍMICOS PARA COSMÉTICOS, julho de 2015. Disponível em: https://superaparque.com.br/upload/20151014-031059-insumos-quim- cosm-rf-02-02-15.pdf

[5] ALMELA, L.; et al. Liquida chromatographic-mass spectrometric analysis of phenolics and free radical scavenging activity of rosemary extract from different raw material. **Journal of Chromatography** A, v.1120, n.1, p.221-229, 2006.

[6] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Guia de estabilidade de produtos cosméticos. Brasília: ANVISA, 2004.

[7] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 211, de 14 de julho de 2005. Dispõe sobre os regulamentos técnicos aplicáveis a cosméticos, produtos de higiene pessoal e perfumes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 jul. 2005.

[8] BOYDEN, S. The chemotatic effect of mixtures of antibody and antigen on polymorphonuclear leukocytes. J Exp Med, v. 15, p. 453-466, 1962.

[9] BRASIL. Lei nº6.360, de 23 de Setembro de 1976. Dispõe sobre a Vigilância Sanitária a que ficam sujeitos os medicamentos, as drogas, os insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos, saneantes e outros produtos, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), p. 12647, 1976.

[10] CASTRO, K. P. T.; SILVA, G. F.; MADUREIRA, M. T. formulação e elaboração de um produto xampu-condicionador de base orgânica na forma sólida. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 29575- 29587, 2019.

[11] CÉSAR, Francine et al. Patent analysis: A look at the innovative nature of plant-based cosmetics. **Química Nova**, v. 40, p. 840-847, 2017

[12] CHEAH, O.; CILLIERS, J. J. Foaming behavior of Aerosol OT solutions at low concentrations using a continues pluging jet method. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, 263, p. 347-352, 2005.

[13] COSTA, T., & JORGE, N. (2011). compostos bioativos benéficos presentes em castanhas e nozes. **Revista de Nutrição**. Disponível em: https://www.uece.br/nutrindowp/wp-content/uploads/sites/82/2021/07/compostos-bioativos-em-castanhas-e-nozes.pdf

[14] CUTRIM, E. S. M. et al. Avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante dos óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos de Zingiber officinale (Gengibre) e Rosmarinus officinalis (Alecrim). **Revista Virtual de Química**. v. 11, n. 1, p. 60-81, 2019..

[15] DIEZ, M. A; CARVALHO, G. S. C. Aditivos para sabonetes em barra. Oxiteno S/A Indústria e Comércio, São Paulo – SP, 2000.

[16] DINI, I.; LANERI, S. The New Challenge of Green Cosmetics: natural food ingredients for cosmetic formulations**. Molecules**, Usa, v. 26, n. 13, p. 1-28, 2021.

[17] FARMACOPEIA BRASILEIRA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC, v. 6, n. 609, 9 de março de 2022.

[18] FERREIRA, E. S.; SILVEIRA, C. S.; LUCIEN, V. G.; AMARAL, A. S. Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos majoritários do óleo bruto da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa H.B.K*). **Alimento e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 203-208, abr/jun 2006.

[19] FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura. Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças, p. 209-216, 2017.

[20] GOMES DA SILVA, W.; CORTESI, N.; ROVELLINI, P. La nocciola brasiliana (Bertholletia excelsa H.B.K., famiglia delle Lecythidaceae). Nota II. I Lipidi-Studi sulla composizioni chimica. Rivi. Ital. Sostanze Grasse, v.74, p.311-314, 1997.

[21] GONÇALVES, José Ernesto Lima. As empresas são grandes coleções de processo. RAE Revista de Administração de Empresas, v. 40, n. 1, p. 6-19, jan./mar. 2000

[22] HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. *The Measurement of Appearance*. 2. ed. New York: Wiley, 1987.

[23] INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos, São Paulo, 4ª ed. (1ª Edição digital), p.1020, 2008.

[24] LEITE, Marcella Gabarra Almeida; CAMPOS, Patricia Maria Berardo Gonçalves Maia. Development and efficacy evaluation of hair care formulations containing vegetable oils and silicone. **International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients**, v. 5, n. 1, p. 9-9, 2018

[25] KONDO, S.; TSUDA, K.; MUTO, N.; UEDA, J. Antioxidant activity of apple skin or flesh extracts associated with fruit development no selected apple cultivars. Sci Hortic, v. 96, p. 177-185, 2002.

[26] LOPES, E. M. X.; CASTILHO, F. L. M.; CASTRO, V. C. F. Análises de qualidade de xampus de Cetoconazol 2% manipulados em farmácias magistrais de Porto Velho, RO, Brasil. Infarma Ciências Farmacêuticas, v. 31, n. 3, p. 155-162, 19 ago. 2019.

[27] MALAGOLI, A. A. T.; LIMA, A. C. Ação umectante de PG e PD em sabonetes em barra. **Cosmetics & Toiletries**, v. 24, p. 60-71, 2012.

[28] MORAES, L. Sabonetes: inovando no desenvolvimento com tecnologia. **Cosmetics & Toiletries,** v. 19, p. 62-71, 2007.

[29] OLIVEIRA, J.R.A., Avaliação do potencial de produção de batom utilizando manteiga de murmuro, corantes de urucum e carmim com essência de breu-branco. Disponível em: https://sigaa.ufpa.br/sigaa/public/docente/pesquisa.jsf?siape=2278490

[30] OLIVEIRA, J. R. A.; Produção de batons a partir das oleaginosas amazônicas: açaí, andiroba, castanha-do-Brasil, copaíba e tucumã. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

[31] PHARMACEUTICAJR. O que é uma formulação de cosmético vegano? P**harmaceutica Jr,** Campinas (SP), 21 de jul. de 2021.

[32] RAHBARDAR, G. M.; HOSSEINZADEH, H. Therapeutic effects of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) and its active constituents on nervous system disorders. Iranian Juornal of Basic Medical Sciences, v. 23, n. 9, p. 1100-1112, 2020.

[33] RASKOVIC, A.; MILANOVIC, I.; PAVLOVIC, N.; CEBOVIC, T.; VUKMIROVIC, S.; MIKOV, M. Antioxidant activity of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) essential oil and its hepatoprotective potential. BMC Complement Altern Med. v.14, p.225, 2014.

[34] REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Parâmetros físico-químicos do óleo de milho in natura e sob aquecimento calculado pelo programa Proteus RMN H1. Revista Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, p. 1-6, 6 jun. 2006.

[35] RITTNER, H. Sabão: Tecnologia e utilização. São Paulo, 1995, p. 366-367

[36] RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.;PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. EMBRAPA: Comunicado Técnico on-line, Fortaleza, nº 127, 2007.

[37] SIQUEIRA, S. A. C. S., MOURA, O. F. S., FREITAS, A. J. D., SOUSA, J. S., MORILLA, D. P., & FREITAS, J. D. (2024). Fomentando a exploração científica no ensino médio por meio da hidrodestilação do alecrim e análise de compostos orgânicos. Anais do [evento ou publicação, se aplicável]. Editora Realize. Disponível em: https://editorarealize.com.br

[38] SCHONS, J. I. Caracterização físico-química do óleo da castanha-do-brasil (bertholletia excelsa h. b. k.) obtido por ultrassom. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso de Bacharel em Farmácia) - Universidade Federal de Mato Grosso, SINOP, 2017.

[39] SOUSA, A. L.; FERREIRA, A. G.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, L. C. G.; SERAFIM, S. R. Cosmetologia vegana: Comparações de shampoos e seus impactos. Trabalho de Conclusão (Técnico em Química) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 35p., 2020.

[40] SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. Iowa: The Iowa State University Press Ames, 1974..

[41] SOUSA, A. L.; FERREIRA, A. G.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, L. C. G.; SERAFIM, S. R. COSMETOLOGIA VEGANA: Comparações de shampoos e seus impactos. 2020, 35 f. Trabalho de Conclusão (Técnico em Química) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2020.

[42] SUYENAGA, E. S. Avaliação da atividade anti-inflamatória de flavonóides por ensaios in vivo e in vitro. Tese de Doutorado, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 238, 2002.

[43] VASCONCELOS, B. E. C. Avaliação das caracteristicas físicas, químicas e nutricionais dos óleos do tucumã (Astrocaryum aculeatum e Astrocaryum vulgare) obtidos com CO2 pressurizado. 2010. 113f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

[44] ZANIN, S. M. W.; MIGUEL, M. D. l.; BUDEL, J. M.; DALMAZ, A. C.; Desenvolvimento de sabão base transparente. Disponível em:. https://revistas.ufpr.br/academica/article/download/483/396.

[45] ZIGMOND, S. H.; HIRSCH, J. G. Leukocyte locomotion and chemotaxis. New methods for evaluation and demostration of a cell-derived chemotatic factor. J Exp Med, v. 137, p. 387-410, 1973.

Capítulo 4

Os plastificantes comerciais DOP, DOTP e TOTM no PVC e possíveis alternativas ao uso massivo de PVC pela indústria petroquímica

Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos principais plastificantes utilizados na indústria do PVC: Dioctil Ftalato (DOP), Dioctil Tereftalato (DOTP) e Trioctil Trimelitato (TOTM). O estudo avalia as vantagens e desvantagens de cada plastificante em relação à flexibilidade, resistência térmica, estabilidade química, toxicidade e aplicações industriais específicas. Observou-se que o DOP, apesar do baixo custo e alta flexibilidade, possui limitações significativas relacionadas ao risco toxicológico e tendência à migração, restringindo seu uso em aplicações industriais não críticas. O DOTP, por outro lado, emergiu como uma alternativa segura e moderna ao DOP, destacando-se por sua baixa toxicidade, boa estabilidade térmica e versatilidade de uso em setores sensíveis como brinquedos, embalagens alimentícias e produtos médicos. Já o TOTM demonstrou-se o mais indicado para aplicações técnicas de alto desempenho, apresentando excepcional resistência à migração e estabilidade térmica, embora com custo mais elevado e maior complexidade de processamento. A evolução tecnológica dos plastificantes reflete uma resposta contínua às exigências regulatórias e demandas de sustentabilidade ambiental, impulsionando o desenvolvimento de soluções mais seguras e eficientes.

Palavras-chave: Plastificantes, PVC, DOP, DOTP, TOTM, Sustentabilidade, Toxicidade.

1. INTRODUÇÃO

Os plastificantes desempenham um papel essencial na indústria de materiais poliméricos desde o início do século XX, permitindo a transformação de polímeros rígidos em materiais flexíveis e com aplicações versáteis. Inicialmente introduzidos na década de 1920, especialmente para o policloreto de vinila (PVC), os plastificantes rapidamente ganharam relevância industrial devido à sua capacidade única de alterar as propriedades físicas e mecânicas dos polímeros (Wypych, 2022). Entre os plastificantes mais utilizados historicamente destacam-se o Dioctil Ftalato (DOP), o Dioctil Tereftalato (DOTP) e o Trioctil Trimelitato (TOTM), cada qual oferecendo benefícios específicos em função das suas propriedades químicas e da aplicação pretendida (Vieira *et al*., 2010).

Com o passar do tempo, a evolução dos plastificantes acompanhou diretamente o desenvolvimento tecnológico e a crescente preocupação ambiental e de saúde pública. A partir dos anos 1980 e 1990, diversas pesquisas começaram a apontar potenciais efeitos adversos de plastificantes tradicionais baseados em ftalatos, como o DOP, levando ao surgimento de alternativas mais seguras, como o DOTP e o TOTM (Rahman & Brazel, 2004). Esses novos compostos passaram a ser preferidos especialmente em aplicações médicas, embalagens alimentares e brinquedos, onde regulamentações rigorosas impuseram limites quanto à toxicidade e migração química.

Hoje, os plastificantes representam um segmento estratégico dentro do mercado global de polímeros, com amplo uso não apenas no PVC, mas também em diversos outros materiais, como borrachas sintéticas, poliuretanos e elastômeros termoplásticos (Tickner *et al.*, 2001). A importância destes aditivos reside na sua capacidade de ajustar precisamente características críticas, como flexibilidade, resistência ao impacto, alongamento na ruptura, permeabilidade e facilidade de processamento. Em setores industriais variados, incluindo automotivo, construção civil, indústria médica, eletroeletrônica e de bens de consumo, os plastificantes asseguram que polímeros possam cumprir requisitos técnicos exigentes, promovendo segurança, durabilidade e desempenho adequado (Jia *et al.*, 2018).

Diante da evolução das exigências ambientais, atualmente se observa uma forte tendência para o desenvolvimento e utilização de plastificantes renováveis ou biodegradáveis, visando diminuir o impacto ambiental e atender às demandas de sustentabilidade (Pielichowski & njuguna, 2022). Essa transição está impulsionando a pesquisa científica e inovação tecnológica, com avanços significativos em plastificantes derivados de óleos vegetais, ácido cítrico, ácidos graxos e outros recursos renováveis, alinhando-se às políticas globais de redução do impacto ambiental (Kastner & Maric, 2012).

Portanto, a evolução dos plastificantes ao longo das décadas reflete não apenas o avanço tecnológico e as mudanças regulatórias, mas também uma resposta contínua às demandas de segurança, sustentabilidade e eficiência, tornando-os indispensáveis para o progresso e a expansão das aplicações dos materiais poliméricos modernos.

1.1. PLASTIFICANTES PARA O POLI(CLORETO DE VINILA) - PVC

Os plastificantes desempenham um papel fundamental na modificação e otimização das propriedades de materiais poliméricos, em especial do policloreto de vinila (PVC). Sua função primária é aumentar a flexibilidade, reduzir a rigidez e melhorar a processabilidade dos polímeros, isso facilita sua adaptação a diversas aplicações industriais (Billmeyer, 1984). Entre os plastificantes mais relevantes estão o DOP (Dioctil

Ftalato), o DOTP (Dioctil Tereftalato) e o TOTM (Trioctil Trimelitato), que representam diferentes gerações e graus de desempenho técnico e ambiental (Fried, 2014).

O DOP (Dioctil Ftalato) foi por décadas o plastificante mais utilizado no mundo, especialmente em produtos à base de PVC, como cabos elétricos, pisos vinílicos, lonas, brinquedos e revestimentos automotivos (Krauskopf, 1997). Sua eficácia como agente plastificante deve-se à alta compatibilidade com a matriz polimérica, baixo custo e boa performance mecânica. No entanto, estudos toxicológicos associaram o DOP a efeitos adversos à saúde humana, especialmente em sistemas reprodutivos, o que levou a severas restrições regulatórias em diversos países, incluindo sua classificação como substância de elevada preocupação pela Agência Europeia de Substâncias Químicas (ECHA) (Tickner *et al.*, 2001).

Como alternativa mais segura e ambientalmente amigável, o DOTP (Dioctil Tereftalato) surge como substituto direto ao DOP em várias aplicações. O DOTP oferece propriedades similares em termos de flexibilidade e durabilidade, com vantagens adicionais como menor volatilidade, maior estabilidade térmica e menor toxicidade. Ele não pertence à classe dos ftalatos, o que facilita sua aceitação regulatória em segmentos sensíveis, como brinquedos, produtos médicos, embalagens alimentícias e aplicações escolares. Combinando segurança e desempenho, o DOTP tem ganhado espaço acelerado na indústria, especialmente onde são exigidos produtos não tóxicos e sustentáveis.

O TOTM (Trioctil Trimelitato), por sua vez, representa um plastificante de alto desempenho, voltado para aplicações técnicas mais exigentes. Caracteriza-se por sua excepcional resistência à migração, excelente estabilidade térmica e desempenho a longo prazo, mesmo em condições severas de temperatura e exposição química. Essas qualidades tornam o TOTM a escolha preferencial em dispositivos médicos (como bolsas de sangue e tubos hospitalares), isolamento de cabos de energia e componentes de segurança. Além disso, o TOTM é reconhecido por sua baixa toxicidade, sendo amplamente aceito por regulamentações internacionais para uso em ambientes que exigem elevado padrão de segurança (Wypych, 2022).

A escolha entre DOP, DOTP e TOTM depende de fatores como seu comportamento quando há exposição humana, condições de uso e equilíbrio entre custo e desempenho. Em aplicações industriais não críticas, o DOP ainda pode ser utilizado, especialmente onde não há contato humano direto. No entanto, para contextos onde a segurança é prioritária — como brinquedos, produtos infantis, embalagens alimentares e aplicações médicas — o DOTP e o TOTM oferecem soluções superiores tanto em termos de segurança quanto de desempenho técnico.

Em resumo, os plastificantes são essenciais para ampliar a funcionalidade dos polímeros e adaptar suas propriedades às mais diversas aplicações. A evolução tecnológica desses aditivos, representada pela transição do DOP para plastificantes mais seguros como DOTP e TOTM, reflete um movimento da indústria em direção à sustentabilidade, segurança e inovação, atendendo tanto a demandas de desempenho quanto a preocupações ambientais e de saúde pública.

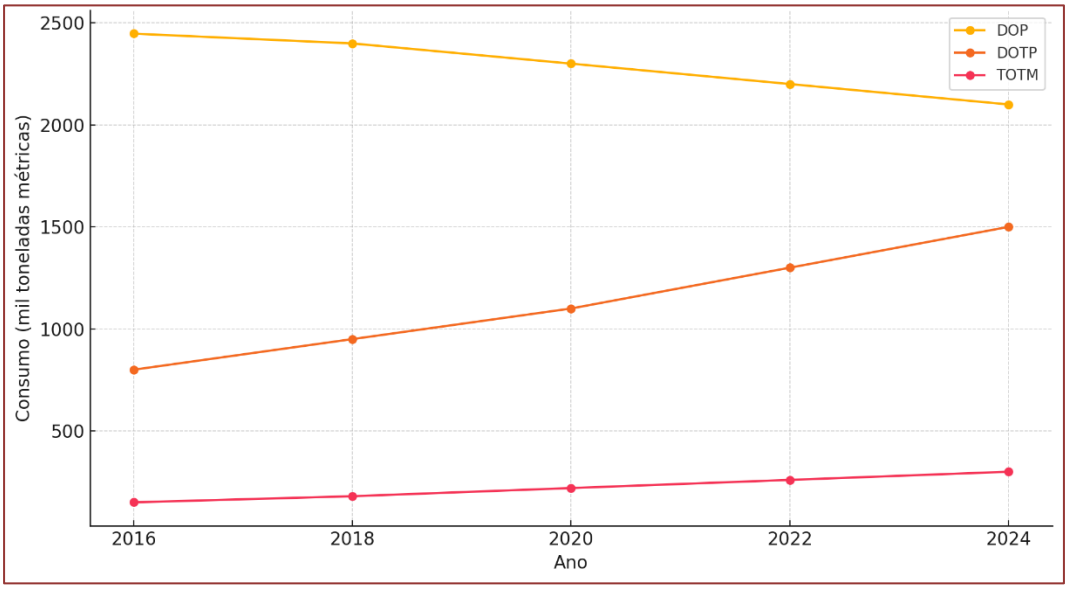
1.2. CONSUMO GLOBAL DE PLASTIFICANTES: DOP, DOTP E TOTM

Atualmente, não há dados públicos disponíveis que detalhem o consumo global específico de plastificantes DOP, DOTP e TOTM. No entanto, informações de mercado indicam tendências relevantes em relação a produção industrial desses insumos:

- DOP (Dioctil Ftalato): Historicamente, foi o plastificante mais utilizado mundialmente, especialmente na Ásia. Contudo, seu uso tem diminuído devido a preocupações ambientais e de saúde, levando a uma redução de 2% no consumo global entre 2016 e 2018, passando de 2.447 para 2.399 mil toneladas métricas (DOF, 2019).
- DOTP (Dioctil Tereftalato): Surgiu como uma alternativa ao DOP, especialmente em aplicações que exigem menor toxicidade. Em 2020, o DOTP representava aproximadamente 15% do portfólio global de plastificantes, com expectativa de crescimento contínuo (ICIS, 2018).
- TOTM (Trioctil Trimelitato): Embora não haja dados específicos sobre seu consumo global, o TOTM é reconhecido por sua estabilidade térmica e baixa migração, sendo amplamente utilizado em aplicações médicas e cabos elétricos ECHA (2024).

Essas tendências refletem uma mudança na indústria em direção a plastificantes mais seguros e ambientalmente amigáveis. A Figura 1 mostra o Consumo Estimado Global de Plastificantes DOP, DOTP e TOTM entre os anos 2016 e 2024, a partir dos dados da produção industrial ao redor do mundo (ECHA, 2024).

Figura 1 - Consumo Global Estimado de Plastificantes DOP, DOTP e TOTM, entre os anos 2016 e 2024



Fonte: ECHA, 2024.

O DOP mostra queda contínua devido a restrições regulatórias e preocupações toxicológicas, o DOTP cresce de forma acelerada como substituto não ftalato, amplamente aceito e, o TOTM mantém crescimento técnico moderado, especialmente em aplicações médicas e elétricas. A Tabela 1 mostra as vantagens e desvantagens da utilização de cada um dos plastificantes.

Tabela 1 - Análise Comparativa dos Plastificantes DOP, DOTP e TOTM

Característica	DOP	DOTP	TOTM
Nome	Dioctil Ftalato	Dioctil Tereftalato	Trioctil Trimelitato
Classe Química	Ftalato	Tereftalato	Trimelitato
Custo	Baixo	Médio	Alto
Flexibilidade	Alta	Moderada	Moderada
Estabilidade Térmica	Média	Boa	Excelente
Resistência à Migração	Média	Boa	Excelente
Toxidade	Alta	Baixa	Muito baixa
Aprovado para uso médico	Não	Sim	Sim (preferido)
Resistência ao envelhecimento UV	Média	Boa	Excelente

Fonte: Wypych, 2022; Echa, 2024.

O DOP é ideal para aplicações industriais não críticas devido ao baixo custo e alta flexibilidade. Entretanto, possui algumas limitações importantes, como o risco toxicológico (restrito por órgãos reguladores como UE, FDA e ANVISA) e tendência à migração. Indicado especialmente para pisos industriais, fios e cabos que não tenham contato direto com humanos ou alimentos.

Já o DOTP é considerado um substituto moderno e seguro do DOP, apresenta vantagens como boa performance, baixa toxicidade e elevada estabilidade térmica. Sua única desvantagem significativa é o custo ligeiramente superior. É particularmente recomendado para brinquedos, calçados, embalagens alimentícias, filmes plásticos, fios e cabos que exigem rigorosas normas de segurança.

Por fim, o TOTM é indicado para aplicações médicas e industriais de alto desempenho, destaca-se pela excelente estabilidade térmica e elevada resistência à migração, sendo ideal para uso prolongado. Contudo, apresenta custo elevado e maior dificuldade de processamento. É especialmente recomendado para bolsas de sangue, tubos médicos, cabos de alta performance e aplicações expostas a condições agressivas, como calor extremo, radiação UV ou exposição química.

2. METODOLOGIA

2.1. EQUIPAMENTOS E CONDIÇÕES DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o desempenho das formulações de PVC plastificado com os aditivos DOP, DOTP e TOTM. As propriedades analisadas incluíram resistência à tração, alongamento na ruptura, módulo de elasticidade e dureza Shore A. Todas as amostras foram previamente acondicionadas em ambiente controlado a 23±1 °C e 50±3% de umidade relativa por um período mínimo de 48 horas.

Os ensaios de tração foram realizados a temperatura ambiente, 25±1 °C, com base na norma ASTM D638 (ou ISO 527-1), utilizando uma Máquina Universal de Ensaios Mecânicos, marca EMIC©: com capacidade máxima de carga de 30 kN, célula de carga utilizada de 1 kN a 10 kN, a velocidade de ensaio de 50 mm/min.

As amostras foram moldadas por prensagem a quente e usinadas conforme o tipo V da norma ASTM D638. Os valores de resistência à tração e alongamento na ruptura foram extraídos da curva tensão-deformação gerada durante o ensaio.

O módulo de elasticidade foi determinado a partir da curva inicial de tração, considerando o trecho linear entre 0,05% e 0,25% de deformação. O procedimento seguiu os critérios descritos na ISO 527-1. O mesmo equipamento e condições do ensaio de tração foram utilizados.

2.2. ENSAIO DE DUREZA (SHORE A)

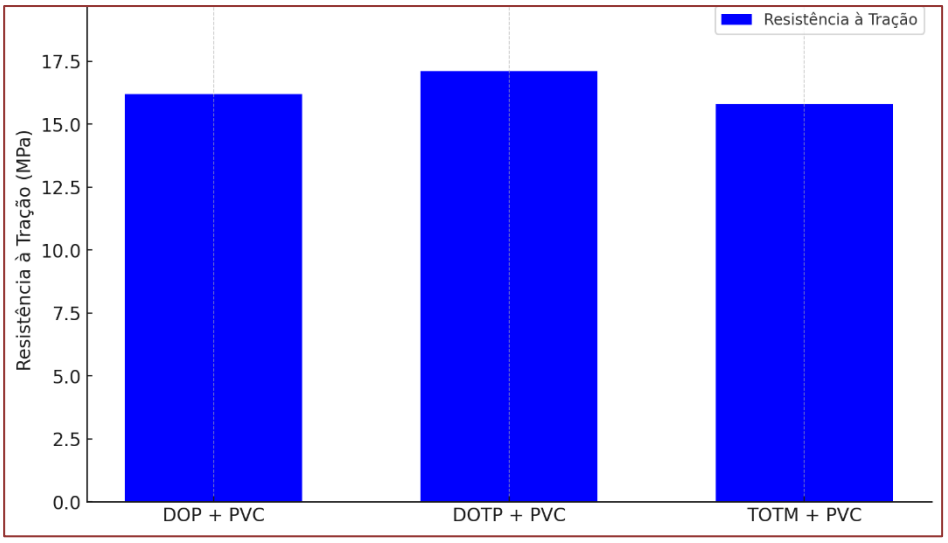
Os ensaios de medição de dureza das formulações foram realizados a temperatura ambiente, 25 °C, determinada segundo a norma ASTM D2240, utilizando um Durômetro Shore A digital: modelo Bareiss HPE II, a Escala utilizada foi Shore A, com Tempo de leitura de 15 segundos após o contato da agulha com a amostra, com espessura da amostra de 6±1 mm, obtido por empilhamento de camadas fundidas se necessário. Cada valor apresentado é a média de cinco medições independentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos gráficos revelam variações significativas nas propriedades mecânicas do PVC plastificado com os diferentes aditivos DOP, DOTP e TOTM. Essas diferenças refletem diretamente o comportamento e a eficiência de cada plastificante na modificação das características do material.

No que se refere à resistência à tração, observou-se na Figura 2, que a mistura DOTP + PVC apresentou o maior valor de 17,1 MPa, superando tanto o DOP com 16,2 MPa quanto ao TOTM com 15,8 MPa. Esse resultado sugere que o DOTP proporciona uma maior integridade estrutural ao PVC, possivelmente devido a uma melhor compatibilidade com a matriz polimérica e uma dispersão mais homogênea.

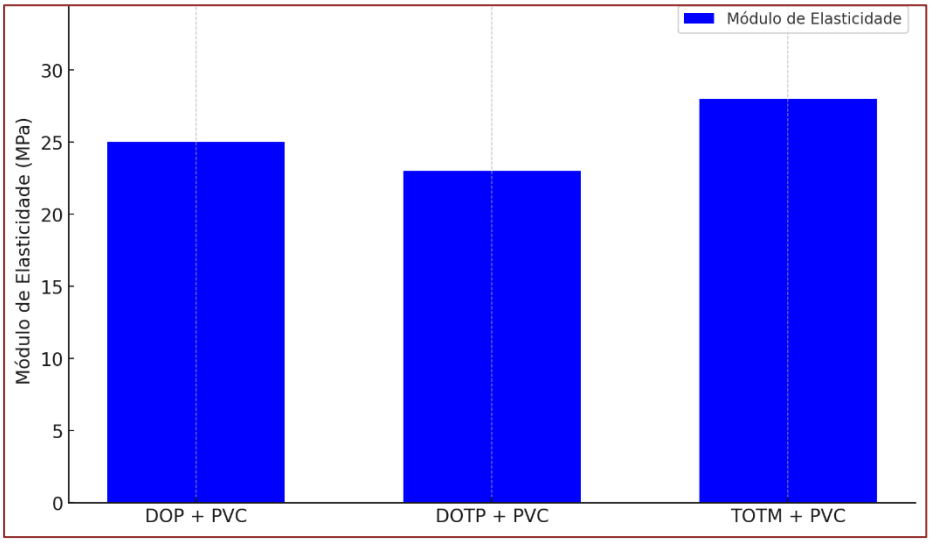
Figura 2 - Resistência à Tração das Misturas de Plastificantes com PVC



Fonte: próprio autor.

No aspecto do módulo de elasticidade, que mede a rigidez do material, de acordo com a Figura 3, a mistura com TOTM apresentou o valor mais elevado de 28 MPa, sugerindo um material mais rígido em comparação às demais formulações de DOP com 25 MPa e DOTP com 23 MPa, que mostraram menor rigidez, o que pode estar associado a uma maior mobilidade molecular induzida por esses plastificantes.

Figura 3 - Módulo de Elasticidade das Misturas de Plastificantes com PVC

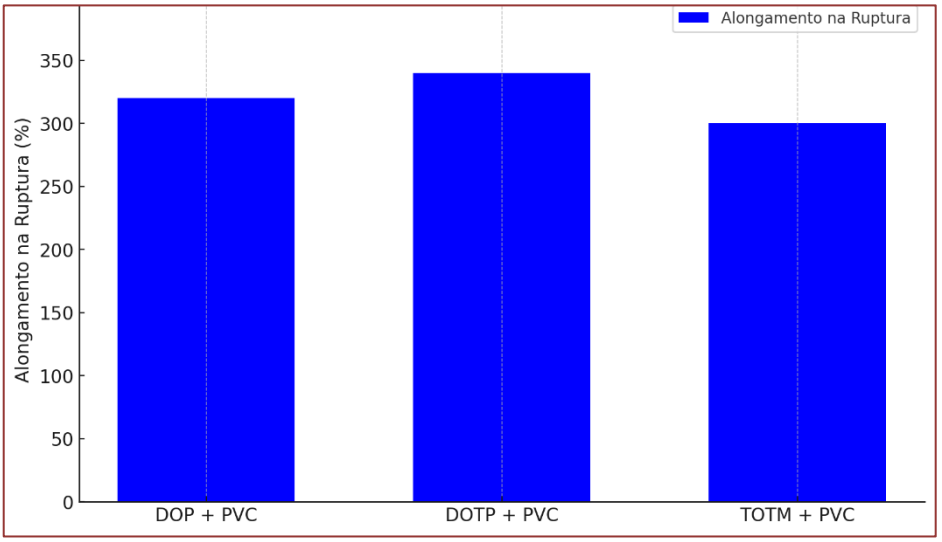


Fonte: próprio autor.

Quanto ao alongamento na ruptura (Figura 4), um indicativo de ductilidade, a formulação com DOTP novamente se destacou, alcançando 340%, seguida por DOP (320%) e TOTM (300%). Isso indica que o DOTP não apenas melhora a resistência, mas também mantém

ou até aumenta a flexibilidade do PVC plastificado, característica desejada em aplicações como filmes e revestimentos.

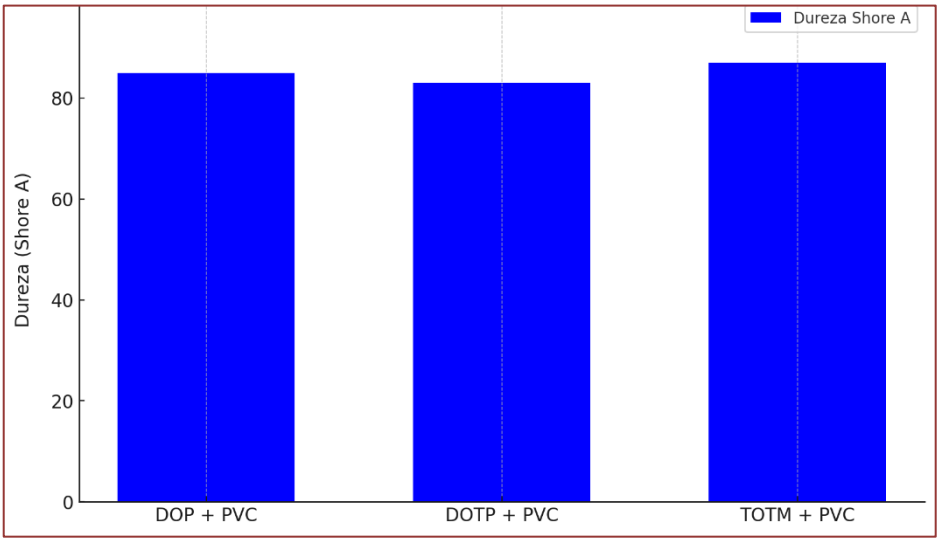
Figura 4 - Alongamento na Ruptura das Misturas de Plastificantes com PVC



Fonte: próprio autor.

Em termos de dureza (Shore A), a mistura TOTM + PVC também apresentou o maior valor (87), seguida por DOP (85) e DOTP (83). Esse comportamento corrobora a maior rigidez observada no módulo de elasticidade, reforçando a tendência de que o TOTM promove uma estrutura mais densa e resistente à deformação superficial.

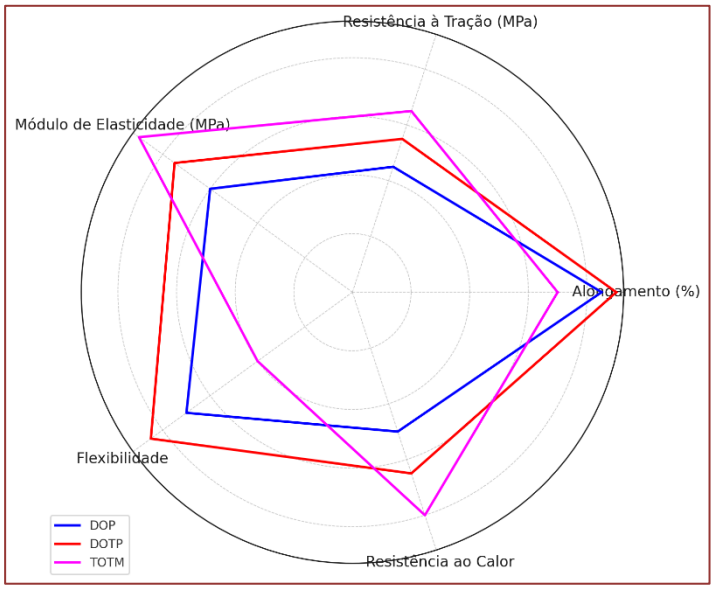
Figura 5 - Dureza das Misturas de Plastificantes com PVC



Fonte: próprio autor.

O gráfico radar (Figura 6) compara as principais propriedades mecânicas e de desempenho dos plastificantes DOP, DOTP e TOTM quando utilizados com PVC.

Figura 6 - Gráfico de Radar com as principais propriedades dos Plastificantes no PVC



Fonte: próprio autor.

Cada plastificante possui características próprias destacadas no gráfico da Figura 6, como:

- **DOP** apresenta um desempenho intermediário em todas as propriedades, mantendo equilíbrio geral.
- **DOTP** se destaca especialmente em alongamento, flexibilidade e resistência à tração, sugerindo maior adaptabilidade para aplicações que requerem flexibilidade e resistência mecânica.
- **TOTM** apresenta alta resistência ao calor e elevado módulo de elasticidade, indicando que é o mais indicado para aplicações que exigem maior estabilidade térmica e rigidez.

Portanto, a escolha do plastificante depende diretamente da aplicação final do produto: se o objetivo é máxima flexibilidade, o DOP se mostra mais eficiente; no entanto, se é necessário um equilíbrio entre flexibilidade e resistência mecânica, o DOTP representa uma alternativa mais balanceada. Para aplicações onde a integridade estrutural é crítica, o TOTM é o mais indicado, mesmo que às custas de menor efeito plastificante.

Esses resultados são consistentes com a literatura técnica. Segundo Wypych (2013) e Wilkes et al. (2005), plastificantes com maior massa molar e estrutura aromática ramificada (como o TOTM) tendem a restringir menos as forças coesivas entre as cadeias do PVC, resultando em menor efeito plastificante, mas em maior preservação das propriedades mecânicas originais.

4. CONCLUSÃO

As tendências observadas indicam que o plastificante DOTP se destaca por proporcionar o melhor equilíbrio entre resistência mecânica e flexibilidade, sendo especialmente indicado para aplicações que requerem alta durabilidade e capacidade de deformação. Já o DOP apresenta um desempenho intermediário em todas as propriedades analisadas, mantendo-se ainda como uma referência padrão amplamente utilizada pela indústria. Por outro lado, o TOTM proporciona maior rigidez e dureza aos materiais, sendo recomendado principalmente para produtos que demandam elevada estabilidade dimensional e resistência térmica.

REFERÊNCIAS

[1] Billmeyer, F. W. (1984). Textbook of polymer science (3rd ed.). Wiley-Interscience.

[2] DOF - (2019). Diario Oficial da Federação - Nota técnica sobre plastificantes – consumo e regulamentação. Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5606875

[3] ECHA (2024) European Chemicals Agency - Information on Candidate List substances – DEHP. Retrieved from https://echa.europa.eu

[4] Fried, J. R. (2014). Polymer science and technology (3rd ed.). Pearson Education.

[5] ICIS – Independent Commodity Intelligence Services. (2018). Chemical profile: US plasticizers. Retrieved from https://www.icis.com/subscriber/icb/2018/11/15/10282182/chemcial-profile-us-plasticizers/

[6] Jia, P., Xia, H., Tang, K., & Zhou, Y. (2018). Plasticizers derived from biomass resources: A short review. Polymers, 10(12), 1303. https://doi.org/10.3390/polym10121303

[7] Kastner, J., Cooper, D. G., & Maric, M. (2012). Renewable plasticizers from vegetable oils: Properties and performance. Journal of Polymers and the Environment, 20(2), 487-499. https://doi.org/10.1007/s10924-012-0414-2

[8] Krauskopf, L. G. (1997). Plasticizers. Journal of Vinyl and Additive Technology, 3(1), 3–9. https://doi.org/10.1002/vnl.730030103

[9] Latini, G. (2004). Plasticizers, infant nutrition and reproductive health. Reproductive Toxicology, 19(1), 27–33. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2004.05.011

[10] Levchik, S. V., & Weil, E. D. (2005). Overview of recent literature on flame retardancy and smoke suppression in PVC. Polymers for Advanced Technologies, 16(10), 707–716. https://doi.org/10.1002/pat.631

[11] Pielichowski, K., & Njuguna, J. (Eds.). (2022). Thermal Degradation of Polymeric Materials (2nd ed.). Smithers Rapra.

[12] Rahman, M., & Brazel, C. S. (2004). The plasticizer market: an assessment of traditional plasticizers and research trends to meet new challenges. Progress in Polymer Science, 29(12), 1223–1248. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.10.001

[13] Rosen, S. L. (1993). *Fundamentals of polymer science: An introductory text* (2nd ed.). Wiley.

[14] Tickner, J. A., Schettler, T., Guidotti, T., McCally, M., & Rossi, M. (2001). Health risks posed by use of di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review. American Journal of Industrial Medicine, 39(1), 100-111. https://doi.org/10.1002/1097-0274(200101)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Q

[15] U.S. Food and Drug Administration (FDA). (n.d.). *Use of Plasticizers in Medical Devices and Food Packaging*. Retrieved from https://www.fda.gov

[16] Vieira, M. G. A., da Silva, M. A., dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. European Polymer Journal, 47(3), 254-263. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011

[17] Wang, X., Zhu, Q., Yan, X., & Wang, Y. (2021). Production, Use, and Fate of Phthalic Acid Esters for Polyvinyl Chloride Products in China. Environmental Science & Technology, 55(20), 13841–13849. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02977

[18] Wypych, G. (2022). Handbook of Plasticizers (4th ed.). ChemTec Publishing.

Capítulo 5

Proposição de rota de produção de biodiesel a partir do óleo de cártamo

Adriane Carneiro Albertini
Amanda Dames Passos Neves
Isabel Tavares Collaça
Rosângela da Silva Leonardo
Carolina Vieira Viêgas
Gisel Chenard Díaz
Rene Gonzalez Carliz
Yordanka Reyes Cruz
Donato Alexandre Gomes Aranda

Resumo: O Brasil começou a introduzir o biodiesel em sua matriz energética a partir de 2004, como uma forma alternativa de energia, visto que grande parte das fontes de energia do mundo são limitadas, como petróleo, carvão mineral e gás natural. Atualmente, todo o diesel de petróleo fabricado no Brasil contém em sua composição biodiesel. Cerca de 70% da produção nacional de biodiesel depende de apenas uma matéria-prima, o óleo de soja, por isso identifica-se a necessidade de diversificar as fontes para a produção do biocombustível. O presente trabalho avalia a utilização do óleo de Carthamus tinctorius L. através sua caracterização físico-química por análises de Estabilidade oxidativa, perfil lipídico, cromatografia em camada delgada e índices de acidez e saponificação. Uma breve comparação do óleo de cártamo com o óleo soja também foi realizada. Para ressaltar a importância do refino do óleo de cártamo, a produção do biodiesel por reação de transesterificação foi realizada com o óleo refinado e não refinado, variando a temperatura e o tempo de reação. Os parâmetros físico-químicos do biodiesel (estabilidade oxidativa, teor de ésteres, teor de glicerídeos, identificação de classes lipídicas, teor de água) também estão descritos. O teor de ésteres para o biodiesel produzido a partir do óleo sem refino foi abaixo do mínimo exigido pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (96,5%), já os que foram produzidos com o óleo refinado, acima do mínimo (98,41% para o melhor ponto). Os demais parâmetros se mostraram majoritariamente satisfatórios de acordo com os limites determinados pela ANP. A caracterização do produto final mostrou que o biodiesel de melhor qualidade foi produzido com óleo refinado, temperatura de 50°C e um tempo de 80 minutos de reação.

Palavras-Chave: Biodiesel, Óleo de Cártamo, Transesterificação, Refino de óleo.

1. INTRODUÇÃO

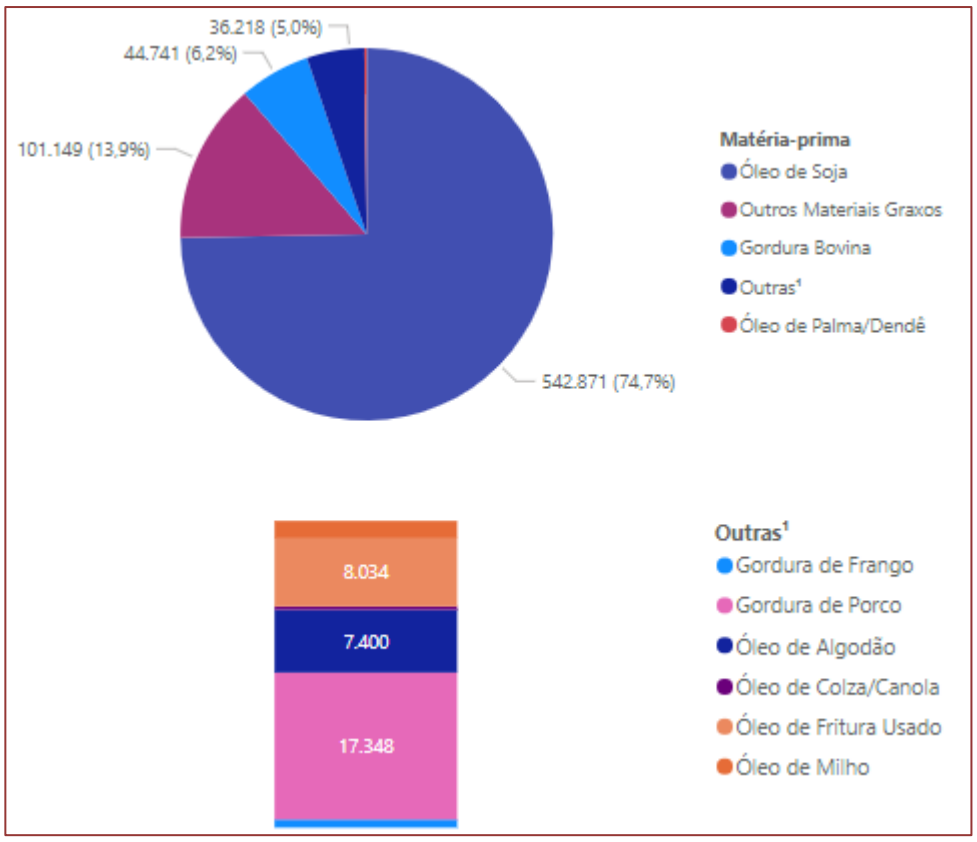
Ao longo dos séculos, a humanidade tem se valido de recursos energéticos não renováveis e insustentáveis, os conhecidos combustíveis fósseis, como carvão mineral, gás natural e petróleo, e seus subprodutos como gasolina, óleo diesel e querosene. Estudos de Beedlow et al. (2004) indicam que anualmente seis bilhões de toneladas de carbono, sob a forma de dióxido de carbono (CO_2), são liberadas na atmosfera devido à queima desses combustíveis, intensificando o efeito estufa. A dependência constante desses recursos, especialmente os derivados do petróleo, enfrentou repetidas supervalorizações e escassez devido a crises políticas e econômicas.

A crise do petróleo na década de 70 provocou uma mudança de foco em diversos países, impulsionando pesquisas e desenvolvimentos em fontes alternativas de energia. Conforme apontado por Deganutti et al. (2002), o Brasil concentrou esforços na substituição do petróleo, explorando fontes como álcool, xisto e metanol. “Ao contrário das fontes finitas de energia provenientes do petróleo, as de caráter renovável tem mostrado que apresentam mais vantagens por serem consideradas um recurso inesgotável” (Oliveira, 2016, p.01). A partir dessa reflexão, existe a necessidade de desenvolver sistemas que integrem eficiência elevada, custos reduzidos de produção, construção e operação, e que ainda produzam energia limpa.

Uma opção que ganha destaque, já implementada em vários países, é a utilização de efluentes orgânicos provenientes da exploração agropecuária, os quais, por meio de biodigestores em sistemas anaeróbicos, geram biogás e biofertilizante. Outra alternativa em crescente exploração é a produção de biodiesel, principalmente a partir de plantas oleaginosas, como o grão de soja, semente de girassol, mamona e cártamo.

Atualmente, todo o diesel de petróleo fabricado no Brasil contém em sua composição 14% de biodiesel, o qual é derivado de óleos e gorduras. Este biodiesel é adicionado ao diesel de petróleo conforme normas estabelecidas pelo Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), instituído em dezembro de 2004. Um dos princípios do Programa é a diversificação das matérias-primas para a produção de biodiesel, visando a preservação dos solos. No entanto, ao revisar o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, publicado anualmente pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), verifica-se que desde 2005 a produção de biodiesel no Brasil tem sido predominantemente baseada em soja, representando cerca de 75% do total, conforme observado na Figura 1.

Figura 1: Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel em maio de 2024



Fonte: Painel Dinâmico de Matéria-prima - ANP

A matéria-prima para a produção de biodiesel compõe 60-80% do preço final do combustível (PEREIRA, 2013), o que evidencia a importância de estudos aprofundados sobre diferentes fontes para a produção, visando à redução de custos e à sustentabilidade.

As características desejáveis para uma matéria-prima voltada para produção do biodiesel incluem adaptabilidade às condições do local de crescimento (precipitações, tipo de solo, salinidade, latitude, seca), viabilidade regional, alto teor de óleo, perfil graxo favorável, compatibilidade com a infraestrutura agrícola existente. (Pereira, 2013, p.21).

A existência de mercados potenciais para os subprodutos agrícolas também é importante, assim como a capacidade de crescer em áreas não agricultáveis ou durante o período de entressafra das culturas convencionais. Além disso, "a cultura deve apresentar um balanço energético favorável e o preço da matéria prima deve ser compatível com a necessidade de fornecer combustível com preços equivalentes ao diesel" (Morais, 2012, p.17).

A fim de diversificar este cenário de matérias-primas para biodiesel, o óleo de cártamo, Carthamus tinctorius L., tem despertado o interesse significativo ao redor do mundo na produção de biodiesel devido às suas propriedades químicas e físicas favoráveis.

O cártamo possui um ciclo de produção que varia entre 90 a 140 dias e é proveniente de regiões de clima seco, sendo tolerante ao frio, à seca e à salinidade. Pode ser cultivada em regiões onde a média anual de precipitação possa ficar mesmo abaixo de 430 mm. O ciclo rápido facilita o uso da cultura do cártamo em consórcio com outros cultivos, fator

relevante nos processos de produção (Oliveira, 2016, p.01).

O óleo de cártamo possui uma composição semelhante ao óleo de girassol. Ele contém o nível mais alto de ácido linoleico entre os óleos comestíveis comuns, um ácido graxo essencial que confere vantagens nutricionais e potenciais propriedades terapêuticas na prevenção de doenças cardíacas coronárias e câncer. No entanto, a alta quantidade de ácido linoleico também o torna sensível à oxidação.

Esse óleo é estável em baixas temperaturas, sendo ideal para alimentos refrigerados. Além disso, possuem alto teor de oleico, são muito estáveis ao aquecimento e não produzem cheiro de fumaça durante a fritura.

Segundo Al Surmi et al. (2015), a composição de ácidos graxos no óleo de cártamo é um dos principais parâmetros a serem avaliados e ela pode variar de acordo com a espécie, forma de cultivo e colheita da semente. A avaliação da composição de ácidos graxos é crucial porque ela afeta diretamente a qualidade do biodiesel, principalmente em relação à sua estabilidade à oxidação impactando diretamente na sua vida útil e características sensoriais.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo propor uma rota de produção de biodiesel a partir do óleo de cártamo, baseada em análises laboratoriais, e demonstrar seu potencial, ainda sub-explorado no Brasil.

2. METODOLOGIA

2.1. MATÉRIA-PRIMA

Para a realização deste estudo, a matéria-prima utilizada foi o óleo de cártamo bruto distribuído e vendido pela empresa Gran Oils.

2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO BRUTO DE CÁRTAMO

O óleo bruto de cártamo foi caracterizado de acordo com as técnicas descritas a seguir:

2.2.1. ÍNDICE DE ACIDEZ

O teor de acidez se refere a quantidade de ácidos graxos livres presentes no óleo e é uma medida relevante para a qualidade e estabilidade. O índice é expresso em termos de ácido graxo livre, geralmente em mg de ácido graxo livre por grama de óleo (mgKOH/g). O método mais comum para a determinação é a titulação ácido-base, usando uma solução de hidróxido de potássio para neutralizar ácidos graxos livres no óleo. Nestes ensaios, foi utilizado um erlenmeyer de 250 mL e foram adicionados 2,0 g de cada amostra do óleo de cártamo com 50 mL de isopropanol e um indicador ácido-base (fenolftaleína). A amostra foi solubilizada e titulada com hidróxido de potássio 0,1 M até observação da cor rosa claro, persistente por no mínimo 15 segundos. O branco foi feito adicionando todos os reagentes, exceto o óleo de cártamo, sendo anotado o volume titulado.

2.2.2. ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

O índice de saponificação representa a quantidade de hidróxido necessária para saponificar um grama de uma substância oleosa. Em termos práticos, ele é expresso em

miligramas de hidróxido de potássio (KOH) por grama de amostra. O método para determinar esse índice se baseia na reação de saponificação, em que um éster (como óleos ou gorduras) reage com uma base (geralmente NaOH ou KOH) para formar sabão e glicerol. Do ponto de vista de caracterização de óleos, esse índice possui como objetivo indicar a quantidade relativa de ácidos graxos de alto e baixo peso molecular presentes na amostra, uma vez que os ésteres de ácidos graxos de baixo peso molecular requerem mais hidróxido para a saponificação. Então, o índice de saponificação é inversamente proporcional ao peso molecular dos ácidos graxos presentes nos triglicerídeos.

O procedimento para determinação desse índice consiste em adicionar em um erlenmeyer uma amostra do óleo junto a uma solução alcoólica de KOH. Essa solução é submetida a aquecimento junto a um condensador de refluxo por 1h. Após resfriamento, é adicionado um indicador (fenolftaleína), de modo que a solução atinja uma coloração rosa muito forte. Então, ocorre a titulação com HCl, até que a coloração rosa desapareça.

2.2.3. PERFIL LIPÍDICO

Para realizar a análise do perfil lipídico a amostras obtida na determinação do teor lipídico foi submetida à reação de metanólise, conforme metodologia descrita por YOO 2010, com modificações. Foram pesados em frasco fechado 5 g de amostra lipídica. Em seguida foi realizada a saponificação com 50 mL de solução saturada de KOH-CH3OH (potassa alcoólica) à 75 ºC por 20 minutos em Banho Maria Nova ética. Depois a amostra foi submetida a metanólise com 50mL da solução metanol com 5%HCL à 75°C por 20 minutos. Estas etapas foram realizadas em frasco fechado para evitar evaporação. Seguidamente, a fase contendo os ácidos graxos foi separada com a adição de 15 mL de água destilada e 10 mL de hexano P.A. Após formação de uma fase única, a solução foi passada para um funil de separação. No funil, após cerca de 15 minutos, a fase aquosa (mais pesada) foi descartada e a fase orgânica (mais leve) foi recolhida. Foram adicionados 300 µL de Heptano P.A à amostra e foi agitada manualmente até homogeneização e em seguida eluida em cromatógrafo gasoso (CG).

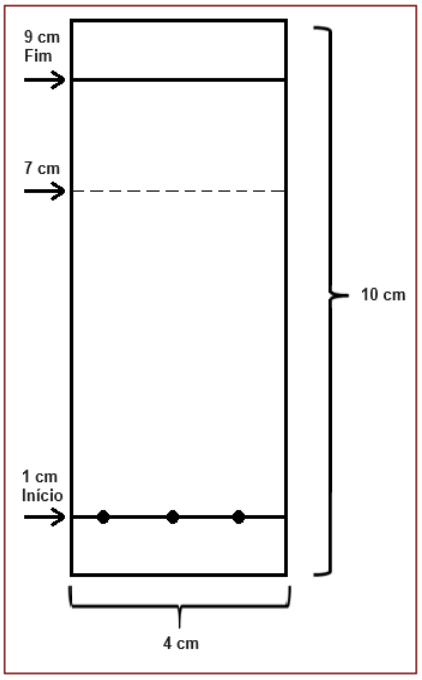
2.2.4. CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

A cromatografia em camada delgada é uma técnica usada para separar e identificar compostos em uma mistura. No caso de análise de óleos, é utilizado para determinação das classes lipídicas presentes na amostra analisada. A análise se baseia na comparação do fator de retenção da amostra na placa com classes lipídicas específicas, que já possuem um fator de retenção conhecido para o mesmo procedimento.

Na identificação das classes lipídicas de interesse, presentes nos extratos de microalga, utilizou-se o método modificado de cromatografia em camada delgada (CCD) (inglês: Thin Layer Chromatography, TLC). Nessa análise 0,001 g da fração lipídica extraída foram dissolvidos em 600 µL de clorofórmio. O equivalente a 0,03 µL da solução foi aplicada em uma placa de sílica gel 60 TLC (Merck) com auxílio de uma pipeta automática. Para garantir uma separação eficiente e obter bandas agudas de lipídeos apolares, a separação foi realizada conforme descrito a seguir. Primeiro, utilizou-se na separação dos lipídios a mistura de solventes composta por éter de petróleo / éter dietílico / ácido acético (70:30:2) (v/v), até atingir 2/3 da altura da placa de sílica (7 cm). Depois de secar a placa, a separação continua na mesma direção usando a mistura de solventes composta por éter

de petróleo / éter dietílico (100:2) (v/v) até atingir o topo da placa (9 cm). O modelo da placa está representado na Figura 2.

Figura 2: Exemplo de marcação da placa TLC 4X10 cm



A placa cromatográfica após eluição foi revelada com vapor de iodo e o fator de retenção das manchas dos padrões e dos componentes das amostras foi determinado. Para conseguir uma coloração irreversível dos lipídeos apolares e dos esteróis na placa CCD, a mesma foi mantida em um solução de 0,63 g de $MnCl_2$ $4H_2O$, 60 mL de água, 60 mL de metanol e 4 mL de ácido sulfúrico por 10 segundos, seguida de aquecimento a 105 °C. A intensidade da coloração depende do tempo de aquecimento, que deve ser de 30 minutos no mínimo.

2.2.5. ESTABILIDADE OXIDATIVA

A estabilidade oxidativa é obtida por meio de análise no equipamento Rancimat®, que se baseia em um método acelerado de oxidação (por meio de aquecimento e inserção de oxigênio na amostra), que mede o tempo de indução até que ocorra uma rápida oxidação da amostra. Esse tempo que a amostra leva para a oxidação, que é medida por meio da condutividade da água associada à amostra, é a medida da estabilidade oxidativa.

2.2.6. ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO

Na espectroscopia de infravermelho, a amostra de óleo é irradiada com luz infravermelha, e as moléculas do óleo absorvem essa radiação em comprimentos de onda específicos. Essas absorções correspondem às vibrações das ligações químicas das moléculas. Cada tipo de ligação e grupo funcional no óleo produz um padrão de absorção distinto,

conhecido como espectro infravermelho. Analisando esse espectro, é possível identificar os diversos componentes presentes no óleo analisado.

O mesmo procedimento foi realizado com amostras óleo de soja e ácido oleico, para fins de comparação de resultados.

2.2.7. TEOR DE ÁGUA

Para aferir o teor de água (umidade) foi utilizado o Método Karl Fischer, que consiste na titulação de uma amostra diluída, geralmente em metanol, com o reagente Karl Fischer (uma solução contendo amina, iodo e dióxido de enxofre). O iodo e o dióxido de enxofre são consumidos em razão da presença de água, possibilitando que a medição seja realizada e relacionada com o teor de água na amostra analisada. Todo o processo de leitura até o ponto final da titulação é detectado pelo eletrodo presente na amostra.

A água, além de promover a hidrólise do biodiesel resultando em ácidos graxos livres, também está associada à proliferação de microorganismos, corrosão em tanques de estocagem com deposição de sedimentos. Como o biodiesel apresenta certo grau de hidroscopicidade, o teor de água deverá ser monitorado durante o armazenamento. Apenas a norma ASTM D6751 adotou o método ASTM D2709 para determinação de água e sedimento por centrifugação, estipulando um valor máximo permitido de 0,05% volume. Tanto a RANP 07/08 quanto a norma EN 14214 adotaram o método coloumétrico (Karl Fischer) EN ISO 12937, com maior sensibilidade para determinar o teor de água, fixando a concentração máxima aceitável de água no biodiesel em 500 mg/kg. A norma brasileira também indica o método ASTM D6304 (Lôbo et al., 2009, p.09).

2.3. PRÉ-TRATAMENTO E REFINO DO ÓLEO

Devido ao elevado índice de acidez presente em óleos vegetais, se faz necessário o refino do óleo. Caso contrário, há o risco de ocorrer reação de saponificação durante a reação para produção do biodiesel, o que dificultaria a separação do composto de interesse posteriormente. Além disso, o índice de saponificação do óleo também indica que ele é suscetível a essa reação, caso não ocorra o refino.

De acordo com os limites estabelecidos pelas usinas de biodiesel que utilizam a tecnologia de transesterificação, o índice de acidez máximo permitido para óleos vegetais utilizados como matéria-prima na produção de biodiesel é de 1,5% mg KOH/g (miligramas de hidróxido de potássio por grama de óleo) em reatores bateladas e 0,1% mg KOH/g em reatores contínuos. Portanto, foi considerado importante a etapa de refino do óleo para obter um melhor resultado no produto final.

O procedimento utilizado para o refino do óleo consiste em cinco etapas: na acidificação, neutralização, separação, lavagem e secagem do óleo.

Para a etapa de acidificação, foram adicionados 0,2 g de ácido fosfórico a um béquer e, em seguida, 100g de óleo de cártamo bruto. Foi realizado o aquecimento até 85 °C e a agitação da amostra por 15 minutos.

Na etapa de neutralização, uma solução contendo 50 mL de água destilada e 8,3 g de hidróxido de sódio foi adicionada ao produto da etapa de acidificação. A solução permaneceu em aquecimento a 65 °C e vagarosa agitação por mais 15 minutos.

Para a etapa de separação o produto foi centrifugado a 3500 rpm por 15 minutos e a fase rica em água e glicerina foi separada. Em seguida, o óleo foi lavado com água aquecida a 60 ºC e transferido para um funil de separação. Esse processo de lavagem foi realizado 3 vezes consecutivas, até atingir o pH neutro.

Na etapa de secagem, que tem o objetivo de retirar a umidade absorvida durante a lavagem, o óleo foi aquecido a 110 °C até que não fosse mais observada a turbidez.

Após a realização dos processos de acidificação, neutralização, separação, lavagem e secagem do óleo, observou-se que o mesmo ainda se encontrava turvo, significando que ainda havia presença de água no óleo. Por isso, optou-se por realizar uma nova secagem com Na_2SO_4. Foram pesadas 210 g de óleo e adicionou-se uma proporção de 1% em relação à massa do óleo de sulfato de sódio anidro. Após isto, o óleo foi novamente aquecido a, aproximadamente, 110 °C e filtrado.

2.4. METODOLOGIA USADA NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

A metodologia utilizada será a reação de transesterificação, que consiste na reação dos triglicerídeos do óleo com álcool, resultando em biodiesel e glicerol. Após o processo de refino do óleo explicitado anteriormente, foram pesadas 30 g de óleo e adicionadas a ele uma solução de metóxido de potássio. Para esta solução de metóxido pesou-se 0,6 g (2%m/m) de hidróxido de potássio (KOH) em relação à massa do óleo e, 6 g de metanol em proporção molar de 1:6 (óleo/álcool) para garantir o excesso de CH_3OH favorecendo a formação dos ésteres.

A reação de transesterificação para produção dos biodieseis foi realizada em um condensador de refluxo (Figura 3), onde foram variados os parâmetros de temperatura (50, 60 e 70 °C) e tempo de reação (40, 60 e 80 minutos) de acordo com a matriz de experimentos apresentada na Tabela 1:

Figura 3: Sistema reacional utilizado na transesterificação

Tabela 1: Condições reacionais realizadas

Reações	Temperatura	Tempo de reação	Refino
1	70 °C	40 minutos	sem refino
2	70 °C	80 minutos	sem refino
3	50 °C	40 minutos	sem refino
4	50 °C	80 minutos	sem refino
5	60 °C	60 minutos	sem refino
6	60 °C	60 minutos	com refino
7	70 °C	40 minutos	com refino
8	70 °C	80 minutos	com refino
9	50 °C	40 minutos	com refino
10	50 °C	80 minutos	com refino

A fim de explicitar a importância da etapa de refino na produção de biodiesel, o combustível foi produzido pela mesma rota, utilizando tanto o óleo de cártamo refinado quanto o não refinado, ou seja, no total foram realizadas 10 reações de acordo com a matriz de experimentos da Tabela 1

A adição do metóxido de potássio ao óleo de cártamo foi realizada após o óleo atingir a temperatura especificada em cada reação. Após completo o tempo de reação, a mistura foi transferida para um funil de separação para que houvesse a decantação e separação das fases. Após 30 minutos de repouso, foram observadas duas fases e então, separada a fase rica em glicerina da fase rica em ésteres metílicos.

A fim de purificar o biodiesel, foi feita a lavagem da fase com água destilada em um volume 3 vezes maior do que o do biodiesel. Após este processo e repouso de 24 horas das amostras percebeu-se que elas ainda se encontravam turvas, demonstrando uma possível presença de água e glicerina. Por isso, foi realizado um processo de aquecimento em estufa das amostras e, posteriormente, a centrifugação.

Depois de completa a produção, as amostras foram separadas para a realização das análises de caracterização dos combustíveis produzidos.

2.5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BIODIESEL PRODUZIDO

2.5.1. TEOR DE ÉSTERES (CROMATOGRAFIA GASOSA)

O teor de ésteres metílicos no biodiesel é um parâmetro importante para a determinação da qualidade do biodiesel produzido e é previsto pela Resolução n° 920/2023 da ANP, onde a porcentagem mínima exigida é de 96,5%. Para a realização da análise, a norma europeia EN 14103 é utilizada como referência. Nela, a massa do éster é obtida através da comparação da área total dos picos correspondentes com a área do pico heptadecanoato de metila, utilizado como referência e ela é feita pela injeção da amostra líquida, em injetor com programação de temperatura (PTV) e coluna polar, fase estacionária de polietilenoglicol (DBWax, 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm).

2.5.2. GLICERÍDEOS (CROMATOGRAFIA GASOSA)

A glicerina é um subproduto da reação de transesterificação, o que pode atrapalhar significativamente o rendimento do combustível. Por isso, a determinação da glicerina residual serve como parâmetro para avaliar a eficiência do processo de produção do biodiesel e do próprio processo de combustão. “Problemas como formação de depósitos, entupimento dos bicos injetores do motor e emissões de aldeídos estão relacionados com a alta concentração da glicerina no biodiesel” (Lôbo; Ferreira; Cruz, 2009, p.1599).

A glicerina combinada (monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos) é proveniente da reação incompleta dos glicerídeos, logo, este é um importante parâmetro que pode ser utilizado para avaliar a eficiência da conversão de óleo, utilizado como matéria-prima, em biodiesel. Ela pode ser calculada a partir das concentrações de mono-, di- e triglicerídeos, aplicando-se fatores de conversões individuais baseados na massa molar média dos ácidos graxos que participam da composição da matéria prima.

A sua determinação dos glicerídeos é realizada através dos métodos cromatográficos estabelecidos pelas normas europeias EN ISO 14105 e EN ISO 14106.

2.5.3. ESTABILIDADE OXIDATIVA (RANCIMAT)

Por ser um combustível derivado de óleo, o biodiesel está sujeito à oxidação. Fatores como temperatura, condições de armazenamento e a presença de metais e peróxidos podem acelerar esse processo, afetando diretamente a qualidade do combustível. Para avaliar a estabilidade oxidativa do biodiesel, são realizados testes de oxidação acelerada, como o teste Rancimat. Este segue a metodologia estabelecida pela Norma Europeia (EN 14112), que determina que a estabilidade oxidativa do biodiesel deve ser avaliada a uma temperatura de 110 °C, exigindo um tempo mínimo de 6 horas para o aparecimento de produtos primários de oxidação (Morais, 2012).

Neste método, as amostras de biodiesel são mantidas em um vaso de reação, a temperatura de 110 ºC e sob um fluxo de ar por onde os compostos formados pela oxidação são transportados até um outro recipiente contendo água deionizada. No processo começam a se formar os peróxidos, principais produtos formados na primeira etapa de oxidação do biodiesel e, em seguida, são formados compostos orgânicos voláteis. Essa caracterização é crucial para avaliar as condições adequadas de armazenamento do biodiesel, garantindo sua qualidade e longevidade.

2.5.4. CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

Foi realizado o mesmo procedimento descrito no item 2.2.4. porém com todas as amostras de biodiesel produzidas. Além disso, foi realizado o mesmo procedimento com biodiesel comercial, para fins de comparação de resultados.

2.5.5. TEOR DE ÁGUA

Foi realizado o mesmo procedimento descrito no item 2.2.7. porém com todas as amostras de biodiesel produzidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO BRUTO DE CÁRTAMO

Os resultados das análises de caracterização físico-química do óleo bruto de Cártamo, são apresentados na Tabela 2, assim como, a sua comparação com o óleo de soja (Mihaela et al., 2013).

Tabela 2: Comparação de parâmetros físico-químicos entre o óleo de soja e o óleo de cártamo bruto

Parâmetro	Óleo de cártamo bruto	Óleo de Soja Degomado
Índice de Acidez	1,5788 mg KOH/g	0,42 mg KOH/g
Teor de água	728 mg/kg	460 mg/kg
Monosaturados	82,7%	22,70%
Polinsaturados	0,1433%	53,10%
Saturados	1,1659%	24,20%

Fonte: Adaptado de Mihaela et al., 2013.

Na Tabela 2 mostra-se que o óleo de cártamo bruto analisado apresentou o valor de Índice de Acidez considerado alto e, este índice está diretamente ligado com o rendimento da reação de transesterificação, onde para valores acima de 2 mg KOH/g, o óleo é impróprio para a produção de biodiesel por catálise alcalina. Assim, este foi um dos parâmetros considerados relevantes para a adoção da etapa de refino do óleo. Pelo contrário o índice de saponificação encontrado está um pouco abaixo do encontrado na literatura, e isso é um aspecto positivo, uma vez que quanto maior o índice de saponificação, maior a tendência de ocorrer reações indesejáveis durante a transesterificação.

Perfil de ácidos graxos do óleo de cártamo bruto, pela cromatografia gasosa, mostrou a seguinte composição em ácidos g0raxos: 82,7% monoinsaturados, 15,76% insaturados, 0,23% triinsaturados e 0,14% poliinsaturados. Um ponto relevante desse resultado é que dentre os ácidos graxos presentes na molécula do óleo, o predominante foi ácido oleico. Diferente do óleo de soja, que possui a composição predominante de ácido linoleico, como mostra-se na Tabela 2. Ou seja, a molécula de óleo de cártamo possui menos insaturações quando comparada à molécula do óleo de soja, que é a principal matéria-prima usada atualmente para fabricação de biodiesel.

A quantificação das classes lipídicas de acordo com a cromatografia em camada delgada, mostrou que o óleo de cártamo bruto possui 75,61% de triglicerídeos, 17,20% de ácidos graxos e 7,19% de diglicerídeos. Ao comparar o óleo de cártamo bruto com o óleo de soja, vemos que o teor de triglicerídeos do óleo de soja é maior do que o do óleo de cártamo e por isso, uma possível reação para obtenção de biodiesel com óleo de cártamo pode ter um rendimento menor se comparado ao óleo de soja, já que temos menor concentração do reagente da reação de transesterificação. O refino do óleo pode aumentar o teor de

triglicerídeos, melhorando o rendimento da reação. Quando ao ácido oleico, vemos o mesmo fator de retenção (em torno de 0,45) da cromatografia do óleo de cártamo bruto, o que reforça a presença majoritária desse composto, como foi visto também no perfil lipídico.

Por espectroscopia de infravermelho, obteve-se o espectro na faixa de 4000 – 500 cm^{-1} com resolução de 1 cm usando 64 varreduras. Na região entre 3600-3200 cm^{-1}, uma banda larga e intensa pode ser atribuída às vibrações de estiramento O-H, possivelmente indicando a presença de traços de umidade ou peróxidos. As bandas na região de 3000-2800 cm^{-1} são típicas das vibrações de estiramento C-H de grupos alquila, indicando cadeias longas de hidrocarbonetos, comuns em triglicerídeos. A banda em torno de 1740 cm^{-1} é característica das vibrações de estiramento C=O de ésteres, confirmando a presença de triglicerídeos no óleo. Além disso, a banda em 1650 cm^{-1} pode ser associada às vibrações de estiramento C=C em ligações duplas, indicando ácidos graxos insaturados. Por fim, as bandas entre 1500-1450 cm^{-1} e 1230-1170 cm^{-1} correspondem às deformações angulares de grupos CH_2 e CH_3 e estiramentos C-O de ésteres, respectivamente. Esses resultados reforçam o resultado encontrado na cromatografia em camada delgada, indicando a presença de triglicerídeos e ácidos graxos na molécula.

O teor de água obtido pelo método de Karl Fischer, seguindo a norma ASTM D6304/20, foi de 0,07% m/m (728 mg/kg) (Tabela 2). De acordo com valores obtidos por MIHAELA et al., 2013, o teor de água para o óleo de cártamo é entre 420 e 370 mg/kg, dependendo da forma de extração do óleo. Por isso, o valor encontrado é bem elevado e pode ser prejudicial na hora da produção do biodiesel.

A análise de estabilidade oxidativa do óleo bruto de Cártamo a 110 °C e um fluxo de ar de 10 L/h deu um tempo médio de 5,73 h. Esse tempo de oxidação é coerente com a composição do óleo de cártamo, uma vez que a molécula é majoritariamente composta por ácido oleico, que é uma molécula que possui menos insaturações do que o ácido linoleico. Como a oxidação ocorre nas insaturações da molécula, quando temos menos insaturações deve apresentar uma estabilidade oxidativa maior.

Como os valores citados para o óleo de soja são para o óleo refinado, eles tendem a possuir valores mais satisfatórios quando comparados ao óleo de cártamo bruto analisado. O alto índice de acidez e teor de água podem ser reduzidos por meio do processo de refino do óleo. Já uma vantagem do óleo de cártamo é que a presença majoritária de monosaturados favorece a sua estabilidade.

3.2. ROTA DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL PELO ÓLEO DE CÁRTAMO

3.2.1. REFINO DO ÓLEO BRUTO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO REFINADO DE CÁRTAMO

Após todo o processo de refino seguindo o item 2.3, o óleo de cártamo refinado foi caracterizado pelas suas propriedades físico-químicas, os resultados das análises mostraram que o índice de acidez foi de 1,5788 mg KOH/g no óleo de cártamo bruto para 0,3456 mg KOH/g no óleo refinado encontrando-se dentro do parâmetro para a produção de biodiesel por catálise alcalina. A cromatografia em camada delgada do óleo de cártamo refinado mostrou que o mesmo possui 1,22% de ésteres metílicos, 87,1% de triglicerídeos, 6,62% de ácidos graxos, 4,94% de diglicerídeos e 6,21% de monoglicerídeos. Comparando com os valores obtidos para o óleo de cártamo bruto (75,61% de triglicerídeos, 17,20% de ácidos graxos e 7,19% de diglicerídeos), vemos que

o teor de triglicerídeos do óleo refinado está maior, o que evidencia que o refino foi efetivo no sentido de aumentar a proporção do composto mais importante para a reação de transesterificação, que são os triglicerídeos.

3.2.2. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO BIODIESEL PRODUZIDO

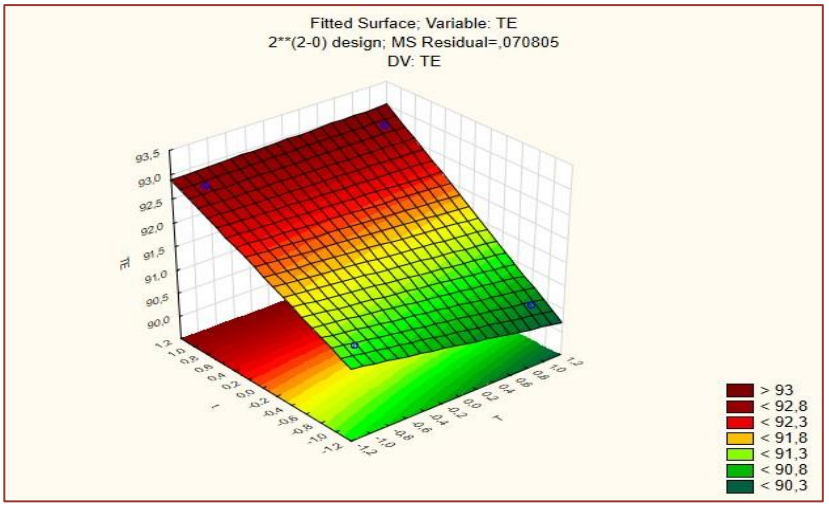
Os biodieseis produzidos pela reação de transesterificação de acordo com a matriz de experimentos item 2.4, as diferentes temperaturas e tempos de reação se mostram na Figura 4. Após esse processo, as amostras foram separadas para a realização das análises de caracterização físico-química e avaliação da qualidade do biodiesel produzido, os resultados se apresentam na Tabela 3.

Figura 4: Amostras de biodiesel após a produção

Tabela 3: Caracterização físico-química do biodiesel

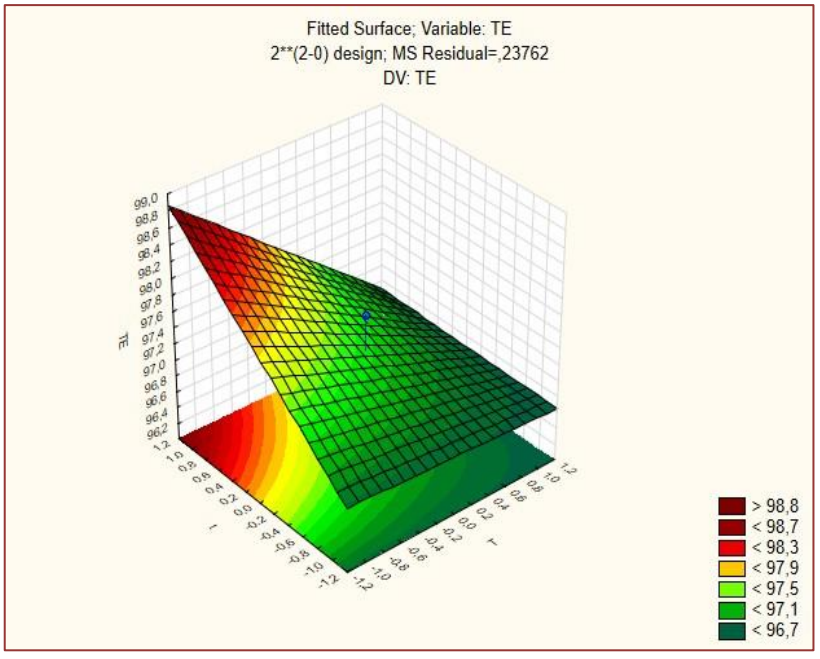
Biodiesel	Teor de éster (%)	Teor de água (mg/kg)	Estabilidade Oxidativa (h)	Glicerídeos (%m/m)				
				GL	Mono	Di	Tri	GT
R1	90,56	0,08	0,00	0,0017	0,9497	0,1147	0,0000	0,2648
R2	92,89	0,06	1,22	0,0061	0,3912	0,1415	0,0659	0,1354
R3	91,18	0,08	1,47	0,0001	0,8404	0,1219	0,0516	0,2414
R4	92,81	0,07	0,32	0,0041	0,7122	0,1853	0,0582	0,2223
R5	91,55	0,08	1,71	0,0002	1,0309	0,1099	0,1082	0,2950
R6	97,68	0,08	0,36	0,0103	0,4022	0,1739	0,0823	0,1490
R7	96,57	0,08	1,50	0,0004	0,8878	0,1191	0,1323	0,2620
R8	96,74	0,09	1,24	0,0028	0,7096	0,2071	0,1546	0,2336
R9	96,82	0,06	0,41	0,0048	0,6335	0,1536	0,0818	0,2004
R10	**98,41**	**0,06**	**3,54**	**0,0096**	**0,4817**	**0,1628**	**0,1054**	**0,1696**

Figura 5: Influência dos parâmetros sob o teor de ésteres para o biodiesel produzido com o óleo sem refino



Fonte: Statistica.

Figura 6: Influência dos parâmetros sob o teor de ésteres para o biodiesel produzido com o óleo refinado



Fonte: Statistica.

Na Tabela 3, pode-se observar que a média do teor de ésteres para as reações sem refino (1 ao 5) foi 91,80% e, das reações com refino (6 a 10) foi 97,24%. Estes resultados demonstram a efetividade do refino, fazendo com que as reações sem o tratamento ficassem abaixo do mínimo exigido pela ANP e as amostras onde a matéria-prima foi refinada, os valores foram acima do parâmetro estabelecido (mín. 96,5% - especificação).

Para uma maior análise dos efeitos da temperatura e do tempo de reação e sua relação com teor de ésteres, foi utilizado o Software "Statistica" para uma breve avaliação. Por não ter dados suficientes para utilizar um modelo estatístico mais completo, conseguimos inferir efeitos dessas variáveis sob as análises realizadas (Figuras 5 e 6).

Podemos observar pela análise do software que, para as faixas desses parâmetros analisadas, o efeito da temperatura foi negativo e do tempo de reação foi positivo. O melhor resultado obteve-se na reação R10 (T=50 °C; t=80 minutos; com óleo refinado), ou seja, quanto menor a temperatura e maior o tempo de reação, apesar de, para as faixas analisadas, o Software indicar uma influência pouco significativa dos parâmetros, provavelmente porque não houve uma grande variação dos mesmos.

Analisando os perfis de ésteres demostrou-se que, para o biodiesel produzido a partir do óleo de cártamo o éster de ácido oleico é o mais predominante, assim como no óleo bruto. Na Tabela 4 pode-se observar o perfil de perfis de ésteres obtido para o biodiesel da reação 10.

Tabela 4: Perfil de Ésteres do biodiesel de cártamo (R10)

Tempo		Área %
13.273	Mirístico C14:0	0,0323
15,277	Palmítico C16:0	3,4116
16.214	Palmitoléico C16:1	0,0716
17.211	Esteárico C18:0	3,2030
17.429	Oléico C18:1n9c	74,4364
17.850	Linoléico C18:2n6c	16,8687
18.523	Linolênico C18:3n3	0,1864
19.344	Araquidico C20:0	0,3482
19.551	Gadolínico C20:1	0,2232
21.728	Behenico C22:0	0,8941
24.235	Lignocérico C24:0	0,3245

De acordo com os valores obtidos de glicerídeos (Tabela 3), tanto os valores com refino e sem refino ficaram dentro dos parâmetros exigidos pela ANP, exceto pelos monoglicerídeos.

De acordo com os valores de teor de água, a secagem das amostras se mostrou uma etapa importante na produção do biodiesel, visto que a água afeta o produto em alguns aspectos negativos como a proliferação de microrganismos, corrosão em tanques de armazenamento e também pode promover a hidrólise, resultando em ácidos graxos livres.

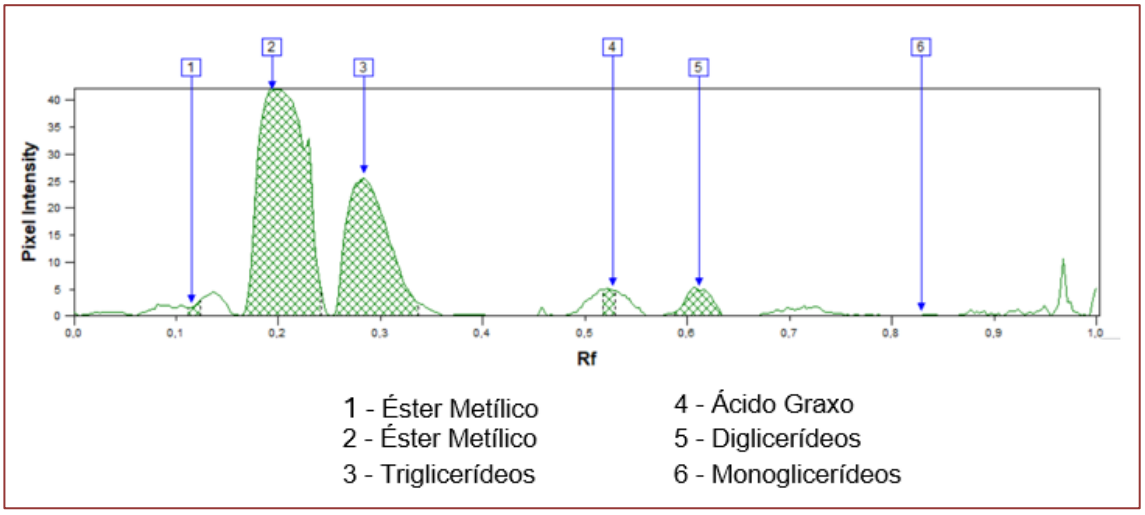
Os valores obtidos para a estabilidade oxidativa (Tabela 3), indicaram que os biodieseis produzidos não atingiram o limite mínimo delimitado pela ANP (13 horas), porém este inconveniente pode ser sanado com a adição de aditivos antioxidantes ao biodiesel,

conferindo a ele uma maior estabilidade e resistência à oxidação. Além disso, os valores encontrados foram próximos aos valores de tempo de indução para biodiesel a partir do óleo de cártamo registrados em Medeiros (2011, p. 46), em que foi obtido um ponto de indução entre 1h e 3,6h.

Também se percebeu que a reação R1, realizada com o óleo não refinado, não gerou um tempo satisfatório, resultando na ausência de um ponto de indução. Isso ocorreu porque a condutividade observada na amostra variou de forma linear com o tempo, resultando em uma curva sem ponto de inflexão. Isso pode ter ocorrido por algum problema na medição do equipamento ou alguma contaminação na amostra.

A quantificação das classes lipídicas de acordo com a cromatografia em camada delgada, mostrou que o ponto mais relevante dessa análise é o teor de éster metílico, que representa a proporção de moléculas de biodiesel formadas após a reação de transesterificação, enquanto o teor de triglicerídeos evidencia quanto dos triglicerídeos do óleo não reagiram. Os valores encontrados de éster metílico variaram entre 35,91% e 60,73%. Enquanto o teor de triglicerídeos variou entre 32,92% e 55,46%. É desejado o maior teor de éster metílico possível e o menor teor de triglicerídeos possível. A amostra de biodiesel com a melhor proporção nesse sentido foi a obtida pela reação R10 (T=50 °C; t=80 minutos; com óleo refinado). Utilizado o programa Image Master Total Lab versão 1.11 para quantificação das classes lipídicas, na Figura 7 se apresenta o Gráfico com o cromatograma feito a partir da amostra R10 e na Tabela 5 as Classes lipídicas da amostra P10.

Figura 7: Gráfico com cromatograma feito a partir da amostra R10



Fonte: Master Total Lab versão 1.11.

Tabela 5: Classes lipídicas da amostra R10

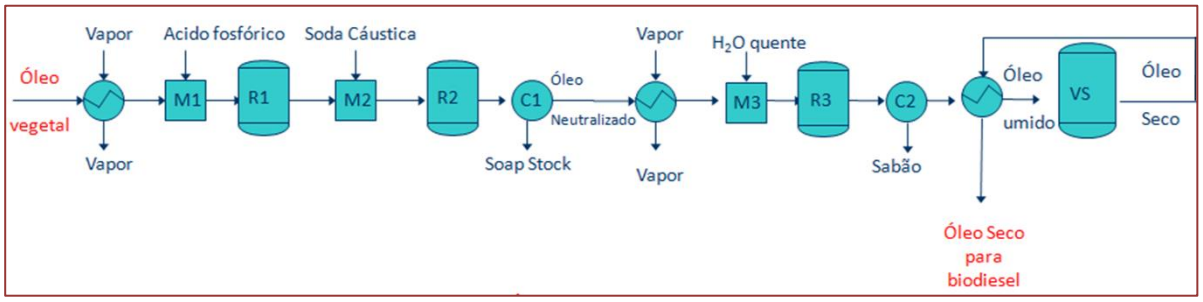
Band	Band %	Rf
Éster Metílico	0,62	0,115
Éster Metílico	60,73	0,194
Triglicerídeos	32,92	0,283
Ácido Graxo	1,57	0,527
Diglicerídeos	4,15	0,611
Monoglicerídeos	0,01	0,829

Fonte: Master Total Lab versão 1.11.

3.3. DEFINIÇÃO DA ROTA TECNOLÓGICA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

De acordo com as análises realizadas e a rota escolhida para a produção do biodiesel, a seguinte rota tecnológica é proposta para a produção em uma escala ampliada. A Figura 8 propõe a etapa de refino do óleo, conforme as etapas descritas no item 2.3.

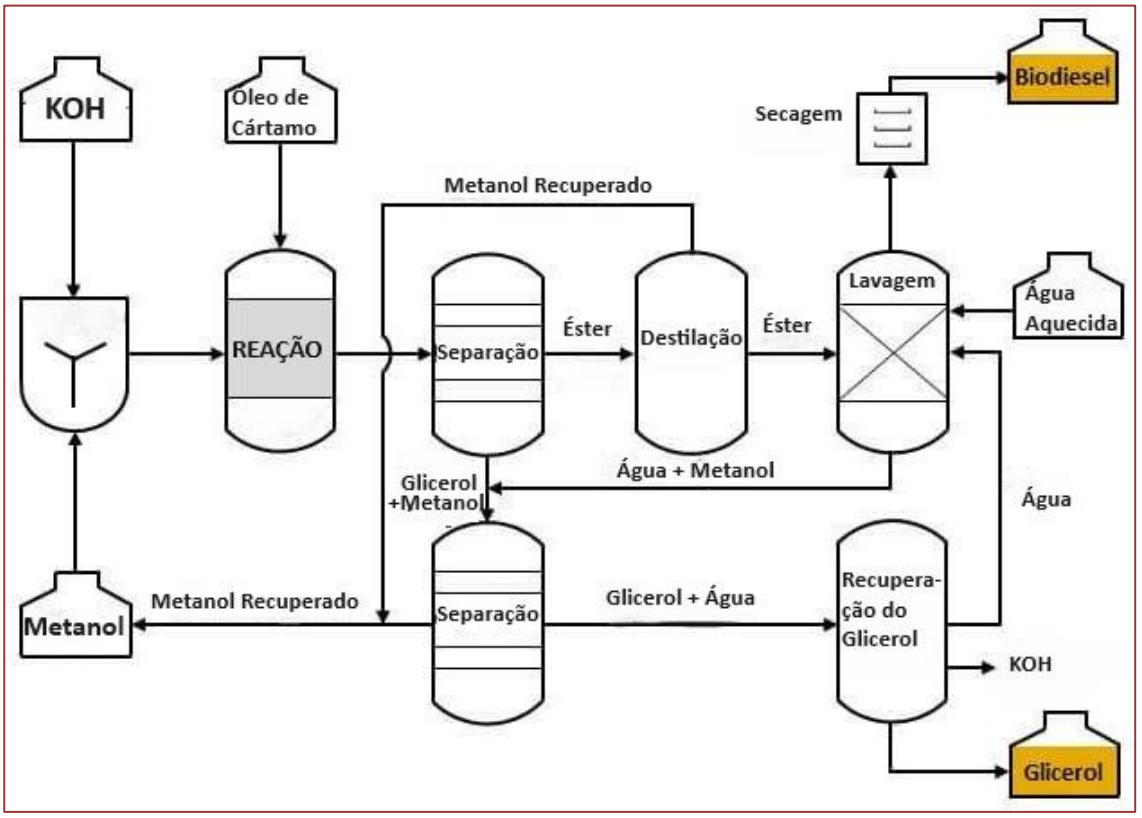
Figura 8: Proposição de rota de refinamento do óleo de cártamo bruto



Fonte: Cruz, Yordanka Reyes (2024).

Para as etapas de reação de transesterificação, lavagem, separação do óleo e recuperação dos reagentes utilizados, a rota proposta está exposta na Figura 9.

Figura 9: Proposição de rota de produção de biodiesel a partir do óleo de cártamo refinado



Fonte: Adaptado de Sustenare (2024).

Conforme discutido no item 3.2.2. as condições da reação escolhida seriam 50 °C com um tempo de reação de 80 minutos, a menor temperatura e o maior tempo. Após a reação, a mistura passa por um tanque de separação, onde a fase de glicerol é separada da fase de ésteres. Esta parte de ésteres, segue para uma etapa de destilação para a recuperação de parte do metanol. Já a fase do glicerol segue para uma nova etapa de separação para recuperação de mais uma parte do metanol, utilizado novamente na reação, e do glicerol.

A fase rica em ésteres segue para a lavagem com água aquecida e, posteriormente, uma etapa de secagem para, finalmente, obter-se o biodiesel finalizado.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados da caracterização físico-química do óleo bruto de cártamo foi proposta uma rota tecnológica para a produção do biodiesel que prevê inicialmente o refino do óleo bruto e, posteriormente, a reação de transesterificação com etapas de separação, recuperação do álcool e do glicerol, lavagem da fase de ésteres e secagem.

Os resultados obtidos para o teor de ésteres destacaram a importância do refino do óleo de cártamo. Os biodieseis produzidos com óleo de cártamo refinado cumpriram com o exigido pela Resolução n° 920/2023 da ANP. A partir dos parâmetros avaliados, foi possível inferir os efeitos da temperatura e do tempo de reação nas amostras. A R10

produzida com o óleo refinado, temperatura (50°C) e maior tempo de reação (80 minutos) se mostrou a mais promissora.

REFERÊNCIAS

[1] AL SURMI, N. Y.; EL DENGAWI, R. A. H.; KHALEFA, A. H.; YAHIA, N. Characteristics and oxidative stability of some safflower (Carthamus Tinctorius L.). Journal of Nutrition & Food Sciences, v. S14, p. 001, 2015. DOI: 10.4172/2155-9600.S14-001.

[2] ANP. Resolução ANP nº 920, de 4 de abril de 2023. Brasil, 2023. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-920-2023-estabelece-a-especificacao-do-biodiesel-e-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializem-o-produto-em-territorio-nacional?origin=instituicao>. Acesso em: 01 mai. 2024.

[3] BEEDLOW, PETER A.; TINGEY, DAVID T.; PHILLIPS, DONALD L.; HOGSETT, WILLIAM E.; OLSZYK, DAVID M. Rising atmospheric CO2 and carbon sequestration in forests. Frontiers in Ecology and the Environment, Corvallis, OR, v. 2, n. 6, p. 315–322, 2004.

[4] CRUZ, YORDANKA REYES. Refino de Óleos Vegetais. 2024. Apresentação de slides.

[5] DEGANUTTI, ROBERTO; PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido; ROSSI, Marco Antônio; TAVARES, Roberto; SANTOS, Claudemilson dos. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Bauru: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP, 2002.

[6] LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade e Métodos Analíticos. Química Nova, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009. Acesso em: 29 de junho de 2024.

[7] MEDEIROS, PETRUCCIO TENÓRIO. Viabilidade técnica do biodiesel metílico do óleo de duas variedades de Carthamus tinctorius L. como substituto do diesel de petróleo. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

[8] MIHAELA, P.; RATHBAUER, J.; NEGREA, M.; ZELLER, R. Perspectives of safflower oil as biodiesel source for South Eastern Europe (comparative study: Safflower, soybean and rapeseed). *Fuel*, v. 111, p. 114-119, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.012>. Acesso em: 22 de junho de 2024.

[9] MORAIS, E. K. L. Estudo do óleo das sementes de Carthamus tinctorius L. para a produção de biodiesel. (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal, RN, 2012.

[10] OLIVEIRA, A. J. A cultura do carthamus tinctorius l.:principais usos e variabilidade genética. Research, Society and Development, [S.l.], v. 10, n. 2, e24810212683, 2021. ISSN 2525-3409. Acesso em: 28 de maio 2024.

[11] OLIVEIRA, C. V. K. Análise do cártamo como cultura energética. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia e Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

[12] PEREIRA, GABRIELLE MACEDO. CARTHAMUS TINCTORIUS L.: armazenamento de sementes, viabilidade do óleo para biodiesel e da torta para alimentação animal. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

[13] SUSTENARE NEW. Combustível. Como é o processo de produção de biodiesel. By Fernando Oliveira. Disponível em: https://www.sustenare.com.br/como-e-o-processo-de-producao-de-biodiesel/. Acesso em: 03 abril de 2025.

[14] YOO, C. et al. Selection of microalgae for lipid production under high levels carbon dioxide. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 71-74, 2010.

Capítulo 6

Sistemas de energia solar off grid de baixo custo: teoria e prática: aplicações, testes e análises

Hugo dos Santos
Mário Cupertino da Silva Júnior
Nara Silveira Velloso
Douglas Romeu da Costa
Luis Gustavo Figueiredo França
Wendel de Melo Massaranduba

Resumo: Os sistemas *offgrid* são sistemas isolados da rede elétrica convencional e que fazem uso de baterias para armazenamento da energia gerada. Estes sistemas são indicados para locais que não dispõem de rede elétrica nas proximidades. Tornar estes sistemas eficientes, seguros, confiáveis e viáveis requer conhecimento técnico, para o correto dimensionamento das suas capacidades elétricas e faixas de trabalho. Assim, o presente trabalho visou promover a implementação, aplicação e análises de dois sistemas de energia solar *offgrid* de baixo custo, com potencial uso no suprimento de energia elétrica de eletrodomésticos comuns em residências. O trabalho foi conduzido na Universidade Federal de Sergipe (UFS) utilizando a infraestrutura do Laboratório de Energia e Automação (LEAUT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), pois o mesmo dispõem de estrutura física, elétrica, mecânica, de suporte e segurança adequada, para a correta e segura condução dos testes, análises e implementações. Foram realizados testes de carga e descarga da bateria, em duas configurações de equipamentos, sendo que cada uma compunha um sistema de energia solar *offgrid* diferente. Foi possível observar que o simples uso e integração dos equipamentos que compõe o sistema solar *offgrid* não é suficiente para se alcançar um sistema eficiente, confiável e racional. Isso reforça a importância em saber dimensionar corretamente todos os equipamentos que compõem o sistema *offgrid*, baseado nas demandas das cargas elétricas que serão acopladas a ele, bem como em suas características e qualidades técnicas.

Palavras-chave: energias renováveis, sustentabilidade, sistemas fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

A principal fonte de geração de energia elétrica do nosso país, é advinda pelas hidrelétricas, por meio do potencial gravitacional da água represada em barragens, e que movimentam as pás de geradores, convertendo a energia potencial gravitacional em energia mecânica, e por consequência, o movimento mecânico converte tal energia em eletricidade (Reis et al. 2005). Essa forma de geração de energia elétrica é motivo de orgulho e privilégio, pois é uma forma de geração de energia limpa, sem queima de combustíveis fosseis e a consequente poluição do ar, como acontece na maioria dos países desenvolvidos.

O nosso país possui forte potencial hídrico devido as diversas e extensas bacias hidrográficas que o abarcam. Entretanto, as constantes mudanças climáticas observadas nos últimos anos e a consequente redução de chuvas, estão promovendo fortes reduções dos níveis das águas represadas nas barragens, diminuindo drasticamente o seu potencial gravitacional. Isso vem forçando o governo e as agências responsáveis a fazerem uso de outras formas de geração de energia elétrica, tendo as termoelétricas como solução imediata (COPEL, 2005).

As termoelétricas promovem a geração de energia elétrica de uma forma muito mais cara e danosa ao meio ambiente, pois são provenientes da queima de combustíveis fosseis (Eduardo, 2008). Este alto custo acaba sendo repassado aos usuários, o que prejudica ainda mais a economia do país, e afeta diretamente a todos, principalmente, aqueles mais vulneráveis e que dependem da energia elétrica para tocarem seus negócios, sua produção e comercialização, e mais ainda, para os que menos recursos dispõem.

Outras formas de gerações de energias elétrica vem sendo pesquisadas, estudadas, melhoradas e implementadas ao longo dos últimos anos, como alternativas de minimização do custo, de investimentos e de agressões ao meio ambiente (Gouvello & Maigne, 2003). Dentre estas se pode destacar o uso da energia solar e eólica, que fazem uso, respectivamente, da energia advinda do sol e da força dos ventos, para promoverem a produção de eletricidade, o que as categorizam como fontes de geração de energia limpa (Custódio, 2013).

A energia solar faz uso de painéis fotovoltaicos, cujos materiais são capazes de absorver a energia advinda dos raios solares e a converter em sinais elétricos (energia elétrica). Segundo Aldabó (2002), esse processo de conversão vem se tornando mais eficiente e acessível ao longo dos últimos anos, sendo uma opção de destaque, interessante e possivelmente viável, em locais de grande exposição e incidência solar, como é o que acontece na maioria das regiões de nosso país, principalmente, no nordeste brasileiro.

Com o aumento da eficiência na conversão da energia solar em elétrica, com o barateamento dos painéis fotovoltaicos e dos dispositivos eletrônicos que compõe todo este sistema de geração de energia limpa, somado a alta incidência solar, e ainda aos frequentes incentivos e indicações governamentais, em todo o mundo, fazem com que a adoção da energia solar para geração de energia elétrica ganhe destaque e atenção (Eletrobras, 2001).

Todos os setores produtivos, seja o primário (agricultura, pecuária ou extrativismo), secundário (industrial) ou terciário (serviços formais ou informais) dependem fortemente da energia elétrica, para sua execução, manutenção e prosperidade (Fadigas, 2011). Inclusive, no conforto e adequação ambiental (iluminação, temperatura, etc.) ou no uso dos mais diversos equipamentos, essenciais e indispensáveis aos processos,

como máquinas elétricas específicas, eletrodomésticos, computadores, notebooks e, mais atualmente, os tablets e smartphones, que além do uso pessoal são amplamente utilizados como ferramentas na gestão de seus negócios.

É notório que a maioria dos dispositivos, equipamentos e ferramentas que nos cercam demandam energia elétrica para seu funcionamento. Mesmo com o aumento da adoção de sistemas de energia solar pelos diferentes tipos de usuários na sociedade, ainda se verifica sua adoção por uma determinada faixa de privilegiados, seja pelo custo, pela falta de incentivo, análise de viabilidade e desconhecimento técnico de como construir um sistema de energia solar eficiente e seguro.

Os sistemas de energia solar fotovoltaico *ongrid* são sistemas integrados à rede elétrica convencional, que é fornecida pelas concessionarias e distribuidoras de energia elétrica. Nos últimos anos, a adoção destes sistemas tem sido ampliada, em virtude dos seus benefícios a médio e longo prazo e das inúmeras empresas que prestam o serviço de instalação. Porem, seu alto custo ainda impossibilita a sua implementação, principalmente, para os que dispõem de menos recurso financeiro. Além disso, sua instalação requer dispositivos mais caros e complexos, ficando o usuário refém das empresas especializadas do ramo, tanto para eventuais manutenções quanto atualizações de novos equipamentos. Já os sistemas *offgrid*, são sistemas isolados da rede elétrica convencional, e fazem uso de baterias para armazenamento da energia gerada. Este sistema é indicado para locais que não dispõem de rede elétrica nas proximidades e vem, ao longo dos últimos anos, se popularizando e tentando democratizar a adoção da energia solar, devido ao seu menor custo, facilidade de compra e instalação, além da vasta diversidade de equipamentos e dispositivos. Entretanto, tornar este sistema eficiente, seguro, confiável e viável requer conhecimento técnico, para o correto dimensionamento das suas capacidades elétricas e faixas de trabalho. Ademais, encontrar esse conhecimento técnico disposto em um formato metodológico de fácil entendimento e acessível a qualquer usuário, é um grande desafio e uma lacuna dentro desta seara.

Sendo assim, o presente trabalho visa promover a implementação, aplicação e análises de dois sistemas de energia solar *offgrid* de baixo custo, com potencial uso no suprimento de energia elétrica de eletrodomésticos comuns em residências.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste projeto consiste em implementar, aplicar, testar e analisar dois sistemas de energia solar *offgrid* de baixo custo, voltado para alimentação de eletrodomésticos populares. Este objetivo se encaixa no Objetivo 7 (Energia Limpa e Acessível - Garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos) da lista dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), que fazem parte da chamada “Agenda 2030” da ONU.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar o cálculo teórico da autonomia da bateria e comparar com a autonomia real observada;
- Testar duas configurações de sistemas de energia solar *offgrid*;
- Monitorar todas as variáveis elétricas envolvidas geradas pelos sistemas *offgrid*;
- Monitorar detalhadamente o carregamento da bateria pelos painéis fotovoltaicos e descarregamento da mesma com o uso de cargas elétricas (eletrodomésticos);
- Verificar se toda a potência elétrica dos painéis fotovoltaicos, informada pelos fabricantes, foram realmente geradas e entregues aos sistemas *offgrid*.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido na Universidade Federal de Sergipe (UFS) utilizando a infraestrutura do Laboratório de Energia e Automação (LEAUT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), pois o mesmo dispõem de estrutura física, elétrica, mecânica, de suporte e segurança adequada, para a correta e segura condução dos testes, análises e implementações, e também dispõe de diversos equipamentos que compõem sistemas de energia solar *offgrid*.

Foram realizados testes em duas configurações de equipamentos, sendo que cada uma compunha um sistema de energia solar *offgrid* diferente. O primeiro possuía um painel fotovoltaico monocristalino de 80W, do fabricante Kript, modelo KRPF-80p, com eficiência de 20%, conforme ilustra a Figura 1(a). A Figura 1(b) ilustra os parâmetros da placa do respectivo painel fotovoltaico, informados pelo fabricante. O controlador de carga utilizado foi o do tipo PWM, do fabricante Morningstar, modelo SHS-10, conforme ilustra a Figura 3(a). Já a segunda configuração foi composta por um painel fotovoltaicos de 120W, do fabricante Kyocera, modelo KC120-1 e com eficiência de 20%, conforme ilustra a Figura 2(a). A Figura 2(b) ilustra os parâmetros da placa do respectivo painél fotovoltaico, informados pelo fabricante. O controlador de carga utilizado foi o do tipo MPPT, da fabricante Epever e modelo XTRA3210N-XDS2 (Figura 3(b)). Ambas configurações de sistemas *offgrid* foram implementadas com o mesmo inversor de tensão de onda senoidal pura de 1200W, do fabricante “E solar de Mambucaba”, com entrada de 12V, em corrente contínua (Vcc) e saída de 220V, em corrente alternada (Vca), conforme ilustra a Figura 3(d), e a mesma bateria do tipo estacionária de chumbo-acido, modelo DF1000, do fabricante Freedom, de tensão elétrica de 12Vcc, frequência de 60 Hz e capacidade de corrente elétrica de 60Ah (Ampère- hora), conforme pode ser observado na ilustração da Figura 3(c).

Figura 1: Painel fotovoltaico (a) e parâmetros de placa do painel fotovoltaico (b) utilizados na primeira configuração

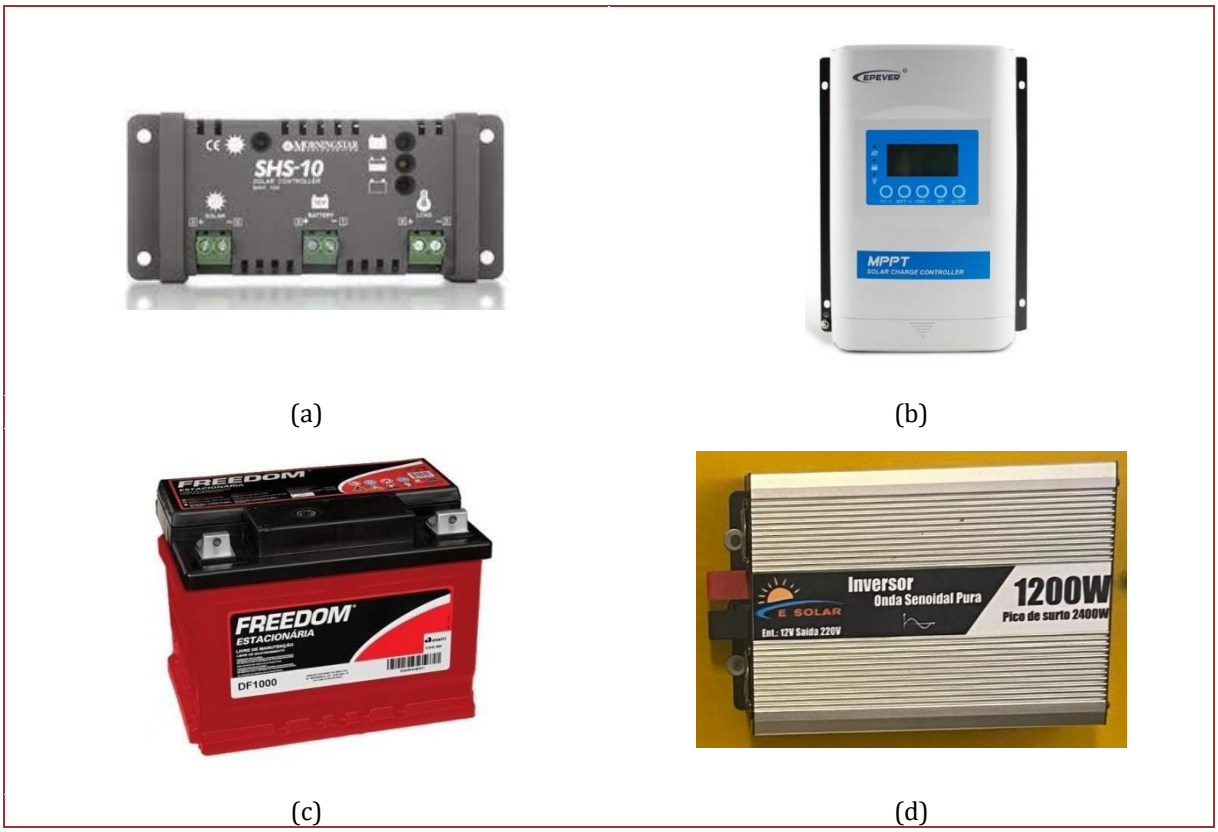
Modelo: Painel Solar 80W KRPF-80P Kript		
Potencial nominal	Pmpp	80 W
Variação da potência	Pnom	±3%
Tensão de circuito aberto	Voc	22,2 Vcc
Tensão MPP	Vmpp	17,9 Vcc
Corrente de curto circuito	Isc	4,85 A
Corrente em MPP	Impp	4,47 A
Tensão máxima do sistema	Vsist	1000 V
Eficiência do painel	η	12,80%
Peso total	KG	7,5 Kg

Os painéis fotovoltaicos das duas configurações foram instalados em uma plataforma móvel e giratória capaz de promover a angulação dos mesmos. Assim, considerando as recomendações e sugestões técnicas de Villalva (2015) e sabendo a localidade de instalação dos painéis, que fora em São Cristóvão-SE, definiu-se a angulação de 15 graus para todos os painéis fotovoltaicos.

Figura 2: Painel fotovoltaico (a) e parâmetros de placa do painél fotovoltaico (b) utilizado na segunda configuração

Modelo: Painel Solar 120Wp Kyocera KC120-1		
Potencial nominal	Pmpp	120 W
Variação da potência	Pnom	±5%
Tensão de circuito aberto	Voc	21,5 Vcc
Tensão MPP	Vmpp	16,9 Vcc
Corrente de curto circuito	Isc	7,45 A
Corrente em MPP	Impp	7,10 A
Tensão máxima do sistema	Vsist	600 V
Eficiência do painel	η	14%
Peso total	KG	11,9 Kg

Figura 3: Controlador de carga da primeira configuração (a), controlador de carga da segunda configuração (b), bateria estacionária (c) e inversor de tensão de onda senoidal pura (d) utilizados em ambas configurações



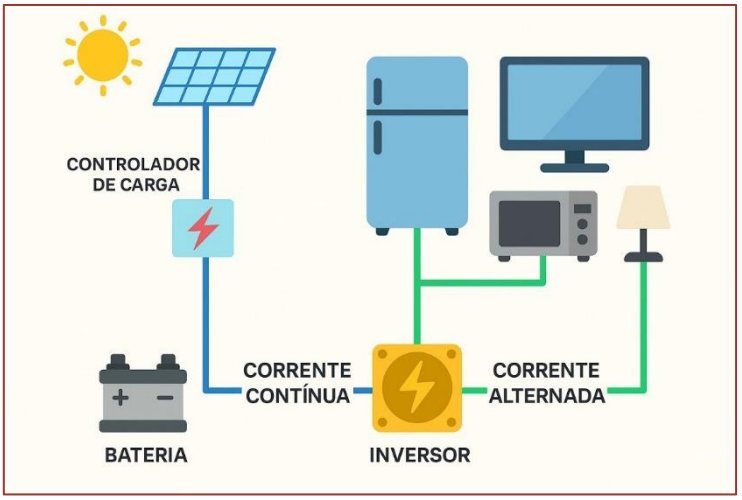
(a) (b)

(c) (d)

Um sistema de energia solar *offgrid* típico é composto basicamente por quatro equipamentos, conforme ilustra a Figura 4, sendo estes:

- Painéis Fotovoltaicos, são responsáveis por converter a energia solar em energia elétrica, sendo compostos por células solares fotovoltaicas, normalmente fabricadas em silício;
- Controlador de Carga, responsável por tratar o sinal elétrico advindo dos painéis fotovoltaicos, e que a depender da quantidade de luz solar, produz mais ou menos energia.
- Essa variação de energia elétrica pode danificar as baterias, assim, os controladores de carga controlam esse sinal para enviar para as baterias e para que estas possam ser carregadas de forma segura;
- Baterias, responsáveis por armazenar a energia gerada e fornecer energia para o inversor de tensão;
- Inversor de Tensão: responsável por converter o sinal elétrico contínuo das baterias, em um sinal alternado capaz de promover o acionamento das cargas elétricas, como eletrodomésticos, eletroeletrônicos e etc.

Figura 4: Esquema de ligação de um sistema de energia solar *offgrid* típico



Os painéis fotovoltaicos são utilizados para realizar a conversão da luz do sol em energia elétrica por meio da captação dos raios solares. Estes painéis são compostos por células solares fotovoltaicas, normalmente fabricadas em silício e, geralmente, compondo dois tipos: silício monocristalino (m-Si) e silício policristlino (p-Si).

Os controladores de carga ficam entre os painéis fotovoltaicos e as baterias e são utilizados para controlar a tensão elétrica de entrada nelas, evitando assim sobrecargas ou descargas excessivas, otimizando e prolongando a sua vida útil.

A bateria estacionária é um tipo de bateria projetada com o objetivo de oferecer uma quantidade constante de corrente por um longo período de tempo, além de poder ser descarregada completamente diversas vezes. São projetadas para ciclos de descarga profundos e, por isso, possuem placas de chumbo mais espessas e suportam quantidades maiores de ciclos de carga e descarga. Essas baterias são indicadas para os sistemas de energia solar e, por isso, atendem bem às suas funcionalidades. Além disso, as estacionárias proporcionam segurança de fornecimento e acúmulo de energia necessária para quando é solicitada.

Os inversores de onda senoidal pura fornecem energia elétrica de alta qualidade, similar à entregue pelas concessionárias de redes elétricas, sendo recomendados para sistemas que devem alimentar equipamentos como os eletrodomésticos.

Todos os dimensionamentos elétricos deste estudo foram realizados conforme as equações apresentadas em Villalva (2015), para sistemas isolados da rede elétrica.

As variáveis elétricas foram monitoradas durante os testes, mantendo sempre toda a segurança necessária para a correta execução dos testes. Estas variáveis foram: a tensão elétrica, corrente elétrica, potência elétrica, bem como também as perdas elétricas, tanto para os sinais de entrada do sistema quanto para os sinais de saída.

Utilizou-se uma cafeteira de 600W/220V, para se efetuar o processo de descarga da bateria, e assim, ser possível também observar o processo de carga da bateria, pelos painéis fotovoltaicos, nos dois sistemas de energia solar *offgrid* construídos.

Todos os testes foram realizados basicamente nas mesmas condições de luminosidade ao longo do dia e durante um período total de 3 semanas, analisando a carga/descarga

da bateria, bem como a demanda de energia elétrica e a potência nominal dos painéis fotovoltaicos entregue aos sistemas.

3.1. PRIMEIRA CONFIGURAÇÃO

Primeiramente, foi feito um estudo minucioso sobre a bateria estacionária utilizada no sistema *offgrid*, conforme orientação do manual técnico do fabricante Freedom. Foram observados os seguintes parâmetros: profundidade de descarga, capacidade de armazenamento, tempo de carga e descarga, corrente de carga, tenção de flutuação, curvas características, entres outros.

A seguinte pergunta foi feita: O painel fotovoltaico de 80W seria capaz de carregar a bateria de 60Ah em quanto tempo? Então, segundo a ficha técnica da placa do painel fotovoltaico (Figura 1(b)), a corrente elétrica nominal produzida pela placa seria de 4,47A. Sendo a bateria de 60Ah, foi aplicado uma profundidade de descarga de aproximadamente 50%, ou seja, a bateria seria descarregada até 30Ah. Esse valor de 50% foi utilizado inicialmente por ser um valor praticado por muitas empresas que prestam serviços de dimensionamentos de sistemas *offgrid*. Com isso, teoricamente, para o painel fotovoltaico recarregar a bateria, considerando que ele mantivesse uma corrente elétrica constante de 4,47A, ele precisaria por volta de 7hs de exposição solar, conforme atesta o calculo a seguir:

$$\text{Tempo de carga: } 4{,}47\,A\,.7\,hs = 31{,}29\,Ah$$

Portanto, partindo do ponto que 7hs de exposição solar é possível de acontecer cotidianamente aqui em Sergipe, teoricamente então, seria possível recarregar a bateria utilizando essa configuração de equipamentos.

É importante destacar que o fabricante da bateria não recomenda essa profundidade de 50%, o mesmo sugere que para um prolongamento da vida útil da bateria é importante não utilizar mais que 20%. Portanto, partindo do ponto que a bateria foi descarregada apenas 20%, ou seja, 12Ah, o tempo de carga seria de menos de 3hs, por volta de 2,7hs de exposição solar seriam suficientes.

$$\text{Tempo de carga: } 4{,}47\,A\,.2{,}7\,hs = 12{,}07\,Ah$$

É importante salientar que, inicialmente, a bateria estava com uma tensão de circuito aberto de 12,15Vcc, com isso, foi necessário recarregar a bateria totalmente para iniciar o estudo, principalmente, para que ela tenha tensão de flutuação de aproximadamente 13,5Vcc +/- 0,3Vcc, conforme recomendação do manual do fabricante.

Por fim, montou-se um esquema, seguindo as ligações do croqui da Figura 4, com os equipamentos das Figuras (3a), (3c) e (3d), para recarregar a bateria, porém, sem a conexão de qualquer carga elétrica na saída do inversor de tensão.

Todos os dispositivos que compunham este sistema *offgrid* foram conectados e configurados conforme todas as recomendações dos fabricantes.

Como o inversor de tensão senoidal pura transformava 12Vcc para 220 Vca e ainda possuía uma potência nominal de trabalho de 1200W, havia-se então condições suficientes para alimentar a carga escolhida (cafeteira elétrica), que era de 600W/220V. Sendo assim,

obteve-se os valores teóricos das correntes icc, ica e a autonomia da bateria $A_{autonomia}$.

$$i_{cc} = \frac{600W}{12V} = 50A\ (corrente\ contínua)$$

Onde icc é a corrente que a bateria fornecerá para alimentar a carga elétrica na entrada do inversor de tensão. A saída do inversor é de 220V, e corrente ica, que é a corrente alternada que circulará na carga elétrica.

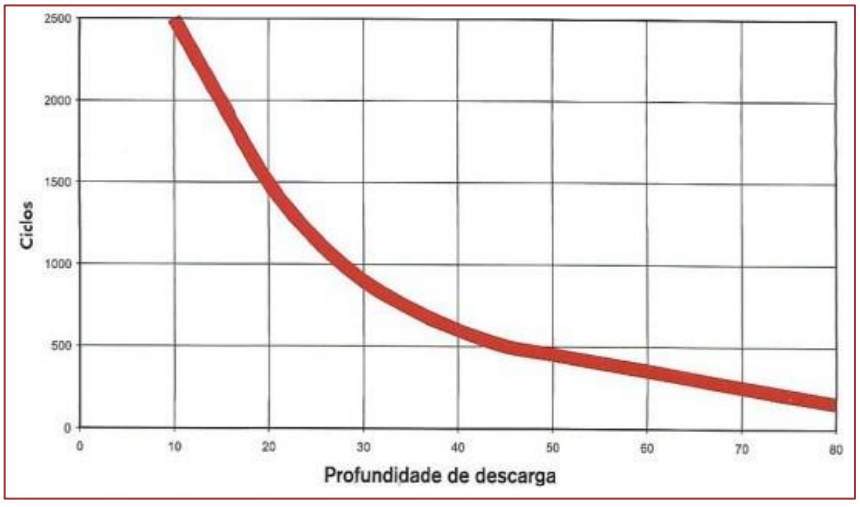
$$i_{cc} = \frac{600W}{220V} = 2{,}72A\ (corrente\ alternada)$$

Utilizando 50% da profundidade de descarga da bateria, ou seja, 30Ah, o cálculo da autonomia da bateria informa que esta seria de 36 minutos.

$$A_{autonomia} = \frac{30aH}{50A} = 0{,}6h\ ou\ 36m$$

A Figura 5 ilustra a curva de profundidade de descarga versus números de ciclos de carga e descarga da bateria, informado pelo fabricante, em seu manual de instruções. Quanto maior a profundidade de descarga menor será a vida útil da bateria, sendo 20% de profundidade de descarga compatível com, aproximadamente, uma vida útil de 1500 ciclos de carga e descarga.

Figura 5: Profundidade de descarga da bateria versus número de ciclos. Fonte: Manual da Freedom



Utilizando 20% da profundidade de descarga da bateria, ou seja, 12Ah, o cálculo da autonomia da bateria informa que esta seria de 14,4 minutos.

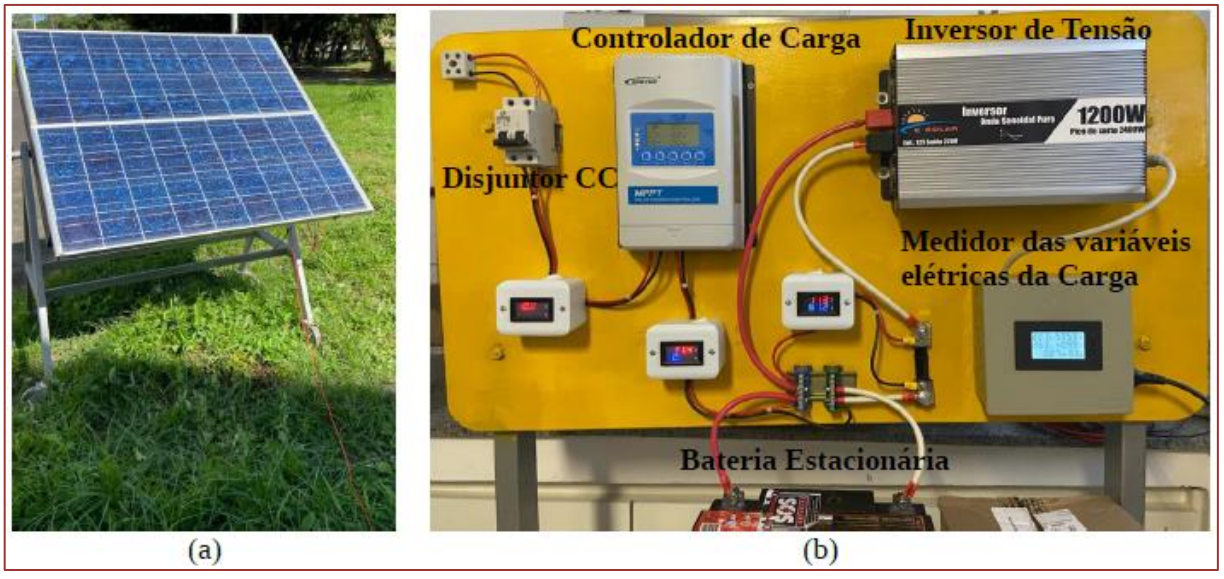
$$A_{autonomia} = \frac{12Ah}{50A} = 0{,}24h \; ou \; 14{,}4m$$

Portando, com apenas 20% de profundidade de descarga tem-se uma autonomia de apenas 14,4 minutos. Essa característica das baterias estacionárias de chumbo-ácido de terem uma profundidade de descarga reduzida, podem tornar os sistemas de energia solar *offgrid* mais onerosos, pois, para alcançar uma maior autonomia seria necessário um banco de baterias com alta capacidade de corrente. Assim, a depender da potência da carga elétrica a ser alimentada pelo sistema de energia solar *offgrid*, o banco de baterias pode tornar sua implementação muito cara, sendo necessário um estudo de viabilidade econômica para saber se os ganhos superam todo o investimento.

3.2. SEGUNDA CONFIGURAÇÃO

Na segunda configuração de sistema *offgrid* o controlador de carga, a bateria e o inversor de tensão foram montados em um painel móvel, como pode ser visualizado pela Figura 6(b). No painel móvel também foi implantado um disjuntor termomagnético para a proteção do sistema, três displays medidores de tensão e corrente elétrica em corrente contínua e um medidor multiparâmetros elétrico de corrente alternada, na saída do inversor, para monitorar os valores de tensão elétrica, corrente elétrica, potência elétrica, fator de potência e o consumo de energia elétrica em kWh (quilowatt- hora) demandados pela carga.

Figura 6: Painel fotovoltaico (a), painel móvel contendo a segunda configuração do sistema de energia solar *offgrid*



Assim como nos testes da primeira configuração, nessa segunda configuração, a bateria estava inicialmente descarregada, com uma tensão de circuito aberto de 12Vcc. Com isso, fez-se sua recarga usando o sistema *offgrid* nessa nova configuração, para que sua tensão de flutuação chegasse a, aproximadamente, 13,5Vcc +/- 0,3Vcc, conforme

orienta o manual do fabricante. Este carregamento foi realizado sem nenhuma carga ligada ao inversor de tensão e teve início as 9:15hs da manhã e a cada 5 minutos foram coletados os dados da tensão, corrente e potência elétrica gerados pelo painel fotovoltaico. A condição climática era de céu aberto, sem nuvens, com o sol em condição favorável para a recarga da bateria.

Como a bateria dessa segunda configuração é a mesma utilizada nos testes da primeira configuração, não houve necessidade de repetir o teste de descarga com a cafeteira elétrica.

A mesma pergunta foi feita: O painel fotovoltaico de 120W seria capaz de carregar a bateria de 60Ah em quanto tempo? Então, segundo a ficha técnica da placa do painel fotovoltaico (Figura 2(b)), a corrente elétrica nominal produzida pelo painel fotovoltaico seria de 7,10 A. Com isso, teoricamente, para o painel fotovoltaico recarregar a bateria, considerando uma profundidade de descarga de 50% da bateria (30Ah), ele precisaria de 4,23hs de exposição solar, conforme atesta o calculo a seguir:

$$\text{Tempo de carga: } 7{,}10\,A\,.\,4{,}23\,hs = 30{,}03\,Ah$$

E precisaria de menos de 2hs de exposição solar, precisamente 1,7hs, caso fosse considerado uma profundidade de descarga de 20% (12Ah), pois:

$$\text{Tempo de carga: } 7{,}10\,A\,.\,1{,}7\,h = 12{,}07\,Ah$$

Portando, seria possível recarregar a bateria de forma mais rápida, utilizando essa configuração de equipamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRIMEIRA CONFIGURAÇÃO

4.1.1. RECARGA DA BATERIA

O processo de recarga da bateria iniciou-se por volta das 10hs da manhã e a cada 15 minutos eram coletados os dados da tensão, corrente e potência elétrica geradas pelo painel fotovoltaico. A bateria estava com um status inicial de 50% de descarregamento. Neste dia, o tempo estava em condições favoráveis para a recarga da bateria. Apesar disso, a tensão elétrica na bateria, durante as 6hs de carregamento, ficou em torno de 12,82Vcc, não atingindo assim a tensão de flutuação mínima recomendada de 13,2Vcc, sendo necessário um segundo dia de recarga. Observou-se neste segundo dia algumas nuvens no céu e, consequentemente, houveram momentos de sombreamento sobre o painel fotovoltaico. Portanto, houveram momentos de variação da geração elétrica, proporcionando valores de corrente elétrica gerada pelo painel fotovoltaico, abaixo do previsto. Isso promoveu o aumento do tempo de recarga na bateria, que poderia ser considerado como um atraso, afetando assim o calculo teórico da recarga. A tensão mínima de flutuação (13,2Vcc) foi alcançada após 5hs de carregamento, nesse segundo dia, perfazendo um total de 11hs de carregamento. No calculo teórico da recarga, considerando 50% de descarga, chegou-se no valor de 7hs, e na prática foi necessário 11hs. Essa diferença foi potencializada pelo sombreamento, porem, é importante observar e levar este fato em consideração, pois sombreamento é algo factível e que pode ser frequente, dependendo da época do ano. Mas mesmo assim, o tempo de recarga observado na prática foi maior que o tempo calculado na teoria. Assim, no

dimensionamento, faz-se necessário levar em conta essas questões que podem acontecer na prática, além das eficiências e das perdas elétricas que existem em todos os equipamentos. Neste processo de recarga foram levantados duas curvas para ilustrar o comportamento, tanto da corrente elétrica ao longo do tempo (Figura 7), quanto da tensão elétrica (Figura 8).

Figura 7: Curva levantada de carga da bateria em relação a corrente elétrica

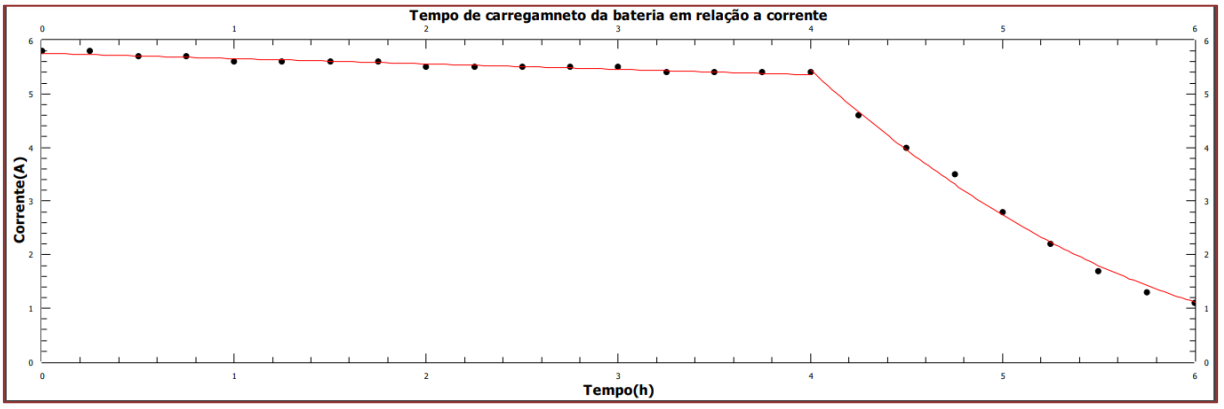
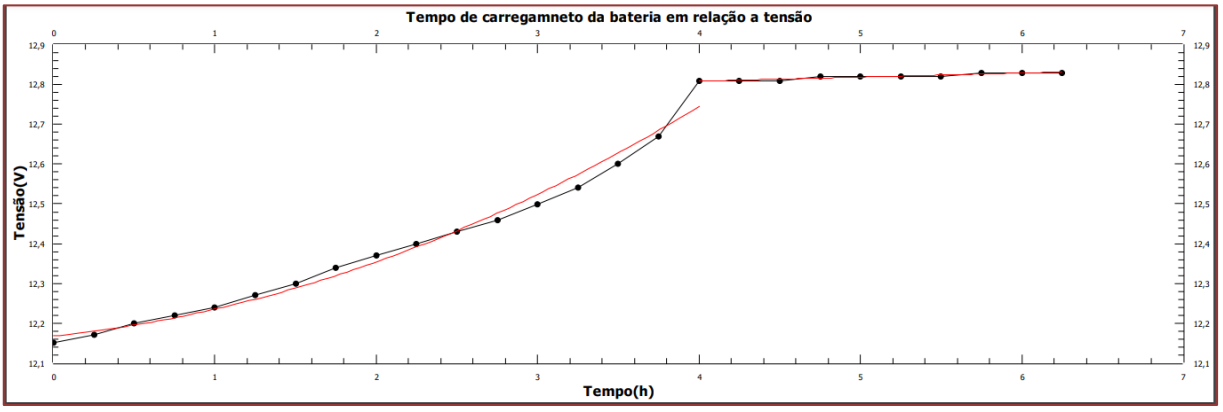


Figura 8: Curva levantada de carga da bateria em relação a tensão elétrica



Não testou-se na prática o processo de recarga da bateria, considerando um status de descarregamento da bateria de 20%.

Com a bateria carregada, foi possível observar na prática o processo de descarga da mesma, utilizando uma cafeteira elétrica como carga. Lembrando que para o processo de descarga desconectou-se o painel fotovoltaico, para que o mesmo não influenciasse no tempo de descarga.

4.1.2. DESCARGA DA BATERIA

A análise do processo de descarga da bateria ocorreu em um teste que foi divido em 6 intervalos de tempo, conforme mostra a Tabela 1, até a bateria atingir o seu valor limite de profundidade de descarga, considerada neste estudo, que fora de 50% (30Ah).

Não se testou na prática o descarregamento da bateria considerando a recomendação do fabricante de 20% de profundidade de descarga, pois as análises do processo anterior, de 50% de profundidade contempla esta de 20%.

Nesse teste foram observados os valores de tensão elétrica e corrente elétrica entre a bateria e a entrada do inversor de tensão senoidal pura. Nesse trecho as variáveis elétricas em questão estão em corrente contínua e foram representados na Tabela 1 por icc e Vcc.

Em cada intervalo de tempo também foi medida a tensão de circuito aberto, que é a tensão elétrica entre os dois terminais (positivo e negativo) da bateria com ela desconectada do circuito. Essa medição é importante para que seja possível determinar o valor nominal da fonte de energia, verificar seu desempenho sem carga e também poder inferir a quantidade de carga que tem na bateria.

Tabela 1: Parâmetros em corrente contínua medidos na entrada do inversor de tensão

Parâmetros em corrente contínua medidos na entrada do inversor de tensão			
Intervalos de tempo	Valores de corrente elétrica (A) - icc	Valores de tensão elétrica (V) - Vcc	Valores de tensão elétrica em circuito aberto (V) - Vcc
12:33	56,30	12,00	12,50
12:38	56,37	11,75	12,42
12:43	56,67	11,69	12,33
12:48	57,75	11,43	12,25
12:53	58,10	11,07	12,10
12:57	58,60	10,60	11,85

Com o tempo transcorrido de 29 minutos do período de início de descarga da bateria e com a tensão elétrica chegando em 10,60Vcc na entrada do inversor, uma luz indicativa de alarme no inversor de tensão começou a piscar. Esse alarme indicou que a tensão entrada no inversor de tensão estava muito abaixo da tensão nominal do mesmo, que é de 12Vcc. Durante esse tempo de 29 minutos a corrente elétrica icc variou de 56,30A a 58,60A, perfazendo uma corrente elétrica média de 57,30A. Sendo assim, a utilização do sistema fotovoltaico demandou uma capacidade de corrente da bateria de 27,50Ah, conforme atesta o calculo a seguir:

$$57{,}30\ A\ .0{,}48\ h = 27{,}5\ Ah$$

Segundo o manual técnico da bateria, para uma demanda de 27,5 Ah, com uma bateria modelo DF1000 de 60Ah a autonomia prevista é de 30 minutos, como mostra a tabela em recorte do manual técnico presente na Figura 9. Isso mostra que a teoria e prática se fundem e reforçam a importância de se observar atentamente às informações do manual

técnico dos dispositivos, principalmente, das baterias. Pelo calculo teórico realizado anteriormente, considerando 50% de profundidade de descarga, o valor obtido para a descarga foi de 36 minutos, valor um pouco maior mas que vigora próximo também do encontrado na prática. Este fato explicita que as informações técnicas do manual, baseadas em testes experimentais, tendem a ser uma fonte de informações mais próximas do que pode acontecer na realidade.

Os valores de tensão elétrica alternada (Vca) e corrente elétrica alternada (iac), medidos entre a saída do inversor de tensão e a cafeteira elétrica, também foram obtidos nesses mesmos intervalos de tempo da Tabela 1, porém, estes valores se mantiveram praticamente estáveis durante todo o período de observação, sendo que a tensão elétrica oscilou muito pouco, entre 227Vca a 228Vca e a corrente elétrica (ica) se manteve, praticamente, fixa em 2,60A. Lembrando que pelo calculo teórico o valor de ica foi de 2,72A, considerando a tensão nominal de 220V. Para uma tensão média de 227,5Vca, a corrente ica calculada foi de 2,64A, ficando bem próxima do valor medido de 2,60A.

Figura 9: Capacidade de corrente elétrica em diferentes regimes de descarga

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS		
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF500	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13
DF700	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	31,5	27	24	21,5	16,3
DF1000	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21

Fonte: Manual técnico do fabricante da bateria Freedom.

4.2. SEGUNDA CONFIGURAÇÃO

4.2.1. RECARGA DA BATERIA

O teste de recarga da bateria, usando a segunda configuração de *offgrid*, mesmo com as condições climáticas favoráveis e poucos momentos de sombreamento, uma exposição solar 6hs, não foi suficiente para o carregamento completo, pois a tensão de flutuação máxima desejada de 13,8V_{cc} não foi atingida. Assim, foi preciso um segundo dia de recarga, que se iniciou as 9hs da manhã e finalizou as 12hs, ou seja, mais 3hs de exposição solar, perfazendo um total de 9hs para recarregamento completo da bateria, considerando um status inicial da bateria de 50% de descarregamento. É importante citar que nessa observação optou-se por considerar a tensão de flutuação máxima, de 13,8V_{cc}. Isso implica um maior tempo de recarregamento quando em comparação com a tensão mínima de flutuação que é de 13,2V_{cc}. Além disso, a presença de nuvens prejudicou também no tempo de exposição solar, mesmo que de forma mais leve. As Tabelas 2 e 3 ilustram as variáveis elétricas geradas pelos painéis fotovoltaicos e recebidos pelo controlador de carga e as variáveis elétricas entregues à bateria depois de condicionadas pelo controlador de carga, respectivamente, no primeiro e segundo dia de recarga.

Não testou-se na prática o processo de recarga da bateria, considerando um status de descarregamento da bateria de 20%, pois a análise considerando 50% de profundidade de descarga, contempla os 20%.

Apesar da Tabela 2 mostrar tensões iguais e superiores a 13,8Vcc, que é a tensão de flutuação desejada nesse estudo, é importante salientar que no processo de recarga o valor da tensão de flutuação vai oscilando até chegar em seu valor desejado, porém, sabe-se que atingiu realmente o referido valor quando o valor de corrente elétrica chega bem perto de zero. Isso indica que a bateria foi carregada e não há mais necessidade de enviar cargas para a mesma, portanto, a corrente é próxima de zero.

Tabela 2: Variáveis elétricas observadas no sistema *offgrid* no primeiro dia de recarga da bateria

	Parâmetros elétricos gerado pelas placas			Parâm. elétr. do controlador de carga entregue a bateria	
Horário	Tensão(V)	Corrente(A)	Potência(W)	Tensão(V)	Corrente(A)
9h14	13,8	6,6	90,6	12,7	6,8
9h30	13,2	0,7	6	12,5	3,8
9h45	13,2	1,3	17,3	12,9	0,4
10h00	13,7	3,4	47,2	12,8	4
10h15	14,0	6,7	93,2	13,1	7,3
10h30	14,3	6,2	88,6	13,2	6,7
10h45	13,6	2,2	30,1	12,8	2,4
11h00	14,4	7,5	108,1	13,3	7,4
11h15	13,7	1,8	24,9	12,8	1,9
11h30	14,4	6,4	92,5	13,4	6,9
11h45	14,3	5,4	77,6	13,4	5,8
12h00	14,5	5,3	77,0	13,4	5,9
12h15	14,5	5,4	77,3	13,5	5,7
12h30	14,1	2,1	30,0	13,4	5,3
12h45	14,5	4,9	71,2	13,5	5,2
13h00	14,5	4,7	69,7	13,6	5,1
13h15	14,5	4,5	65,4	13,6	4,7
13h30	14,7	4,5	65,5	13,7	4,7
13h45	14,6	4,2	62,1	13,7	4,5
14h00	14,7	4,1	59,6	13,7	4,3
14h15	14,7	3,7	54,9	13,8	4,0
14h30	14,7	3,4	50,1	13,8	3,6
14h50	14,9	2,8	42,2	13,9	3,0
15h00	14,8	2,6	37,9	13,9	2,7
15h15	15	2,2	32,9	14,1	2,3

Tabela 3: Variáveis elétricas observadas no sistema *offgrid* no segundo dia de recarga da bateria

	Parâmetros elétricos gerado pelas			Parâm. elétr. do controlador de carga entregue a bateria	
Horário	Tensão(V)	Corrente(A)	Potência(W)	Tensão(V)	Corrente(A)
9h00	16,7	1,7	28,9	14,5	1,9
9h15	16,9	1,0	17,0	14,4	1,3
9h30	14,5	0,0	0,0	13,3	1,1
9h45	17,5	0,8	14,1	14,3	0,9
10h00	17,1	0,6	10,8	14,5	1,0
10h15	15,6	0,7	10,6	14,1	0,8
10h30	14,7	0,3	4,6	13,4	0,4
10h45	17,7	0,6	9,9	14,3	0,7
11h00	17,5	0,5	9,2	14,4	0,6
11h15	17,6	0,5	9,0	14,5	0,6
11h30	17,5	0,5	85,0	14,5	0,6
11h45	17,4	0,5	80,0	14,4	0,5
12h00	17,7	0,3	5,8	13,9	0,4

Esses resultados mostram que mesmo tendo aumentado a potência nominal dos painéis fotovoltaicos e melhorado a eficiência no condicionamento do sinal elétrico pelo controlador de carga MPPT, nessa segunda configuração, um dia de sol não foi suficiente para a recarga completa da bateria, considerando os 50% de descarga. Pelos cálculos teóricos seriam necessários um pouco mais de 4hs de exposição solar, mais precisamente 4,23hs, para que a bateria fosse recarregada, porém, na prática, o valor total necessário observado foi mais que o dobro. Essa diferença chama atenção para um ponto importante, a potência elétrica nominal real entregue pelo painel fotovoltaico ao sistema, não condizente com a informada pelo fabricante. Associado a isso então, tem-se a qualidade dos equipamentos, principalmente, os painéis fotovoltaicos. Nesse caso, especificamente, é possível observar pelas Tabelas 2 e 3 que o valor da potência nominal de 120W do painel, informado pelo fabricante, não foi atingido em nenhum momento. Com isso, mesmo com uma potência maior que o da primeira configuração (80W), a qualidade do painel fotovoltaico dessa segunda configuração mostrou ser bem inferior.

Assim, é importante saber dimensionar corretamente todos os equipamentos do sistema *offgrid* baseado nas demandas das cargas elétricas que serão acopladas a ele. É importante que o número de painéis fotovoltaicos leve em consideração não só a sua potência nominal, mas também seus rendimentos e eficiência. Além disso, deve-se atentar à qualidade dos equipamentos e sua aceitabilidade no mercado. É imprescindível definir o tipo e o modelo do controlador de carga baseado também nas demandas elétricas geradas pelas cargas. As baterias, devem ser compostas em série e/ou paralelo para atingirem a capacidade de corrente e nível de tensão necessários para atender a demanda de um ciclo de carga e descarga diário, dentro de uma profundidade de descarga segura, que garanta manutenção de sua vida útil. Por fim, o inversor de tensão mais apropriado, deve prover uma potência superior a necessária para suprir a demanda elétrica da carga, sendo importante trabalhar com folga, para evitar

aquecimento excessivo e, consequente, danos.

4.2.2. DESCARGA DA BATERIA

Como a bateria dessa segunda configuração foi a mesma utilizada nos testes da primeira configuração, não houve necessidade de repetir esse teste de descarga com a cafeteira elétrica.

5. CONCLUSÕES

Aonde existe rede de energia elétrica convencional disponível, os sistemas *ongrid* tendem a ser mais interessantes, pois são sistemas que integram a produção de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos na rede, gerando benefícios e créditos. Porem, onde não há fornecimento de energia elétrica convencional por perto, ou é inviável tê-la, os sistemas *offgrid* podem talvez ser a única opção viável, pois os geradores a combustível poluem e saem mais caros na maioria das vezes. Os sistemas de energia solar *ongrid* são mais difundidos e conhecidos, já o *offgrid* ainda é insipiente, mas tem grande potencial com a evolução tecnológica recente da autonomia e vida útil das baterias e o barateamento dos custos de todos os equipamentos.

Com base no experimento prático da primeira configuração, principalmente no processo de descarga da bateria, foi possível concluir que a bateria obedeceu aos parâmetros técnicos do manual do fabricante, que relaciona o tempo de uso (autonomia), com a capacidade em amperes-horas(Ah).

O processo de recarga da bateria mostrou certa instabilidade, o tempo de recarga teórico foi de 7h, com a placa solar de 80W, porém a bateria não estava totalmente descarregada naquele momento, estava com 12,15Vcc, mas foi preciso mais de uma carga, para se obter uma tensão se flutuação requerida para um bom funcionamento, sendo necessário 11hs de exposição solar, dividido em dois dias. Para fins práticos pode-se dizer que tal painel fotovoltaico não é indicado para o referido objetivo, sendo recomendado um módulo fotovoltaico com uma potência bem maior, lembrando que o fabricante recomenda uma profundidade de descarga de no máximo 20% da capacidade nominal da bateria, exigindo mais ainda potência na conversão solar/elétrica.

Foi possível observar na segunda configuração, que o modelo de painel fotovoltaico utilizado, nos dias de experimento, não entregou sua potência nominal, descrita pole fabricante. Pode ser que os parâmetros operacionais como temperatura da célula fotovoltaica, intensidade de irradiância, umidade e poeira afetaram o desempenho do módulo fotovoltaico ou a qualidade do mesmo é bem inferior.

Almejava-se efetuar diversos outros testes com outras cargas elétricas, de preferência, diferentes eletrodomésticos, porém, devido o exíguo tempo para o desenvolvimento deste estudo aliada aos escassos recursos disponíveis, essa continuidade de testes não foi viabilizada.

O simples uso e integração dos equipamentos que compõe o sistema solar *off grid* não é suficiente para se alcançar um sistema eficiente, confiável, sustentável e racional.

REFERÊNCIAS

[1] ALDABÓ, R. Energia Solar. São Paulo: Artiliber, 2002.

[2] COPEL (Org.) Manual de Eficiência Energética na Indústria. Curitiba: COPEL, 2005. 139 p.

[3] CUSTÓDIO, R. S. Energia eólica para produção de energia elétrica. Rio de Janeiro: Synergia Acta, 2013.

[4] EDUARDO, J. F. B. Tecnologias de energias renováveis. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

[5] ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI (Org.) Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Itajubá: ELETROBRÁS/PROCEL/EFEI, 2001. 467 p.

[6] FADIGAS, E. A. F. A. Energia Eólica. Barueri: Manole, 2011.

[7] GOUVELLO, C.; MAIGNE, Y. Eletrificação rural descentralizada: uma oportunidade para a humanidade, técnicas para o planeta Rio de Janeiro : CEPEL/CRESESB, 2003, 454 p.

[8] REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. L. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

[9] VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Érica, 2015.

Capítulo 7

Utilização dos experimentos de Taguchi para analisar uma soldagem industrial

Thiago André dos Santos
Fabíola Freitas de Miranda
João Ercio Miranda Júnior
Nilo Antonio de Souza Sampaio

Resumo: Este estudo teve como objetivo identificar lacunas de pesquisa sobre o tema "Testes Estatísticos Não Paramétricos", apresentando especificamente uma aplicação do Teste de Mann-Whitney. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma aplicação desse teste em dados de uma indústria química da região Sul Fluminense. Ressalta-se que a confidencialidade dos dados foi priorizada, em prol dos interesses da empresa.

Palavras-chave: Software Estatístico, Testes Estatísticos Não Paramétricos, Estes Estatísticos Paramétricos, Teste de Mann-Whitney.

1. INTRODUÇÃO

Durante o século passado, a estatística revolucionou a ciência ao apresentar modelos úteis que modernizaram o processo de pesquisa na direção de melhores parâmetros de pesquisa, possibilitando orientar a tomada de decisões em uma ampla variedade de áreas. Os métodos estatísticos foram desenvolvidos como uma mistura de ciência e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento humano (Cardoso et al., 2023; Rezende et al., 2023).

Atualmente, a estatística tem contribuído significativamente para o processo de tomada de decisões porque grande parte do que é produzido se baseia em métodos quantitativos, e a estatística é uma dessas áreas. Na era da informação e do conhecimento, a estatística usa a matemática para apoiar profissionais de empresas, governos e pesquisadores (Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023).

Um projeto de Taguchi, ou matriz ortogonal, é um método para projetar experimentos que geralmente exigem apenas uma fração das combinações fatoriais completas. A matriz ortogonal significa que o projeto é equilibrado, de modo que os níveis dos fatores são ponderados igualmente. Por isso, cada fator pode ser avaliado independentemente de todos os outros fatores, de modo que o efeito de um fator não influencie a estimativa de outro fator: Experimentos estáticos (sem um fator de sinal); e experimentos dinâmicos (com um fator de sinal) (Leiroz et al., 2023).

O objetivo deste artigo é mostrar a aplicação do Experimento de Taguchi em um processo de soldagem. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos de Experimentos de Taguchi. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões dos objetivos propostos, e será apresentada uma aplicação com dados extraídos de uma empresa. Por fim, será apresentada as Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O lançamento de um novo produto e/ou processo geralmente envolve o trabalho com um grande número de variáveis. O planejamento consciente dos experimentos que devem ser usados para manipular essas variáveis e chegar às respostas desejadas é indispensável para a obtenção de resultados confiáveis e para a realização de análises estatísticas consistentes. Nesse contexto, não é mais possível desenvolver produtos e processos empiricamente, como era feito no passado. A concorrência acirrada, a difusão de processos tecnológicos e a responsabilidade da comunidade científica agora tornam esses procedimentos impossíveis. A otimização de processos e produtos exige mais do que nunca um estudo estatístico robusto (Costa, 2011; Lescura et al., 2023; Reis et al., 2023; Sales et al., 2021; Yamada et al., 2023).

O principal objetivo do Método de Taguchi é o de melhorar as características do processo ou de um produto, através da identificação e ajuste dos seus fatores controláveis, que irão minimizar a variação do produto final, em relação ao seu objetivo. Ao ajustar os fatores no seu nível ótimo, os produtos podem ser fabricados de maneira a que se tornem mais robustos a toda e qualquer mudança que possa ocorrer e que seja incontrolável (condições ambientais, variação de temperatura, tempos de acondicionamento, etc...)(Correia & Cardoza, 2011).

Nos Experimentos Taguchi de Parâmetros Robustos, primeiro você escolhe os fatores de controle e seus níveis, e escolhe uma matriz ortogonal apropriada para esses fatores de

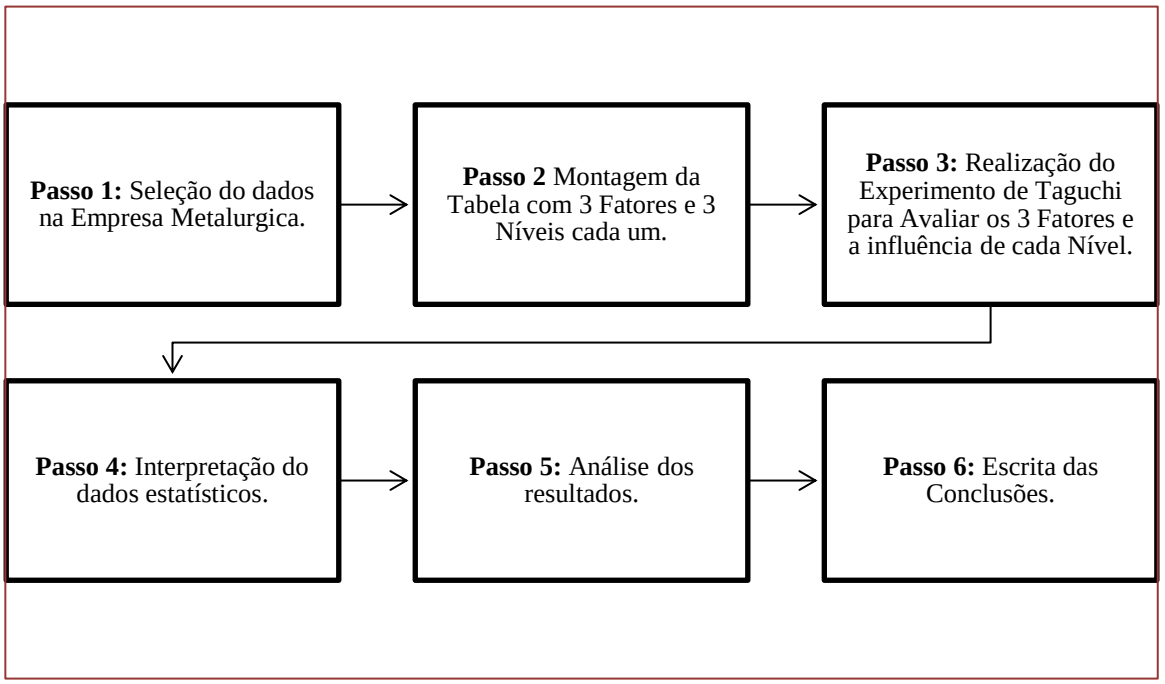
controle. Os fatores de controle compõem a matriz interna. Ao mesmo tempo, você determina um conjunto de fatores de ruído, juntamente com um projeto experimental para esse conjunto de fatores. Os fatores de ruído compõem a matriz externa. Você executa o experimento executando o conjunto completo de configurações de fatores de ruído em cada combinação de configurações de fatores de controle (em cada execução). Os dados de resposta de cada execução dos fatores de ruído na matriz externa geralmente são alinhados em uma linha ao lado das configurações de fator para essa execução de fatores de controle na matriz interna (Leiroz et al., 2023; Moura et al., 2023).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual. (Rezende et al., 2023; Sampaio et al., 2022). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura 1.

- Etapa 1: Os dados experimentais foram selecionados a partir do trabalho de uma Metalurgica no sul do Estado do Rio de Janeiro. Essa escolha foi baseada no fato de que era uma oportunidade de aplicar testes estatísticos em uma situação real.
- Etapa 2: Montagem da Tabela com 3 Fatores e a 3 Níveis cada um.
- Etapa 3: Realização do Experimento de Taguchi para Avaliar os 3 Fatores e a influência de cada Nível usando o software Minitab 19.
- Etapa 4: foi realizada a interpretação dos resultados.
- Etapa 5: a situação do problema foi analisada e as possíveis tomadas de decisão foram baseadas nos resultados obtidos.
- Etapa 6: As conclusões apresentadas no final deste artigo foram tiradas com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores.

Figura 1. Passos do método de pesquisa



Fonte: Autores (2025).

3.1. ESTUDO DE CASO

O problema em questão envolve a soldagem de uma peça e a análise de 3 fatores Tempo de Soldagem em segundos (A) , Pressão em atm (B) e Percentual de Umidade (%):

Tabela 1. Todos os Níveis dos Fatores A,B e C

FATOR	Níveis		
A	1	2	3
B	0,2	0,4	0,6
C	0,8	1,2	1,6

Fonte: Autores (2025).

Todos os Fatores tem 3 Níveis baixo, médio e alto vistos na Tabela-1. Para se analisar os Efeitos de cada Fator nos seus três Níveis se realiza um L9 de Taguchi mostrando os Efeitos o Gráfico dos Efeitos e a ANOVA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

Para se estudar a Razão Sinal/Ruído usa-se “Maior é Melhor” porque quanto maior a Força da Solda é Melhor**.** A expressão usada para se calcular é a vista abaixo:

$$S/N = 10.\ \mathrm{Log}\ \frac{\Sigma\frac{1}{x^2}}{n} \qquad (1)$$

Na Tabela-2 aparece o Experimento L9 de Taguchi com as 6 Réplicas para cada corrida e com os Valores de Média e Razão Sinal Ruído Calculados. A Média foi calculada somando-se as 6 Réplicas e dividindo-se por 6 e Razão Sinal Ruído com a Expressão (1). Inicialmente calcula-se a os Efeitos para cada um dos Fatores nos Níveis Baixo, Médio e Alto. Em seguida realiza-se o Gráfico dos Efeitos e depois a ANOVA para a Média e para a Razão Sinal/Ruído.

Tabela 2. L9 de Taguchi com 6 Réplicas cada um e já com os valores de Média e S/N calculados

EX	A	B	C	Valores Observados						MÉDIA	S/N
1	1	1	1	167	150,7	150,7	150,7	122,7	26,6	128,1	35,4
2	1	2	2	153	157,7	146	164,6	169,3	164,6	159,2	43,3
3	1	3	3	90,2	87,8	90,2	47,5	104,1	71,3	81,9	36,8
4	2	1	2	150,7	169,3	155,3	148,3	160	157,7	156,9	43,2
5	2	2	3	97,1	78,4	61,8	30,4	52,3	68,9	64,8	33,9
6	2	3	1	173,9	164,6	129,7	132,1	164,6	129,7	149,1	42,6
7	3	1	3	47,5	76	80,8	129,7	78,4	68,9	80,2	36,4
8	3	2	1	125,1	209,5	219	150,7	132,1	169,3	167,6	43,3
9	3	3	2	155,3	216,6	150,7	136,7	155,3	148,3	160,5	43,2

Fonte: Autores (2025).

Para o Cálculo dos Efeitos das Médias usa-se a Expressão:

M_{A1} = Média dos Valores no Nível Baixo = $\frac{(128,1+159,2+81,9)}{3}$ = 123,07 (2)

M_{A2} = Média dos Valores no Nível Intermediário = $\frac{(156,9+64,8+149,1)}{3}$ = 124,6 (3)

M_{A3} = Média dos Valores no Nível Intermediário = $\frac{(80,2+167,6+160,5)}{3}$ = 136,1 (4)

De forma análoga calcula-se para os Fatores B e C:

M_{B1} = 121,7 M_{B2} = 130,5 M_{B3} = 130,5

M_{C1} = 148,3 M_{C2} = 158,2 M_{C3} = 75,6

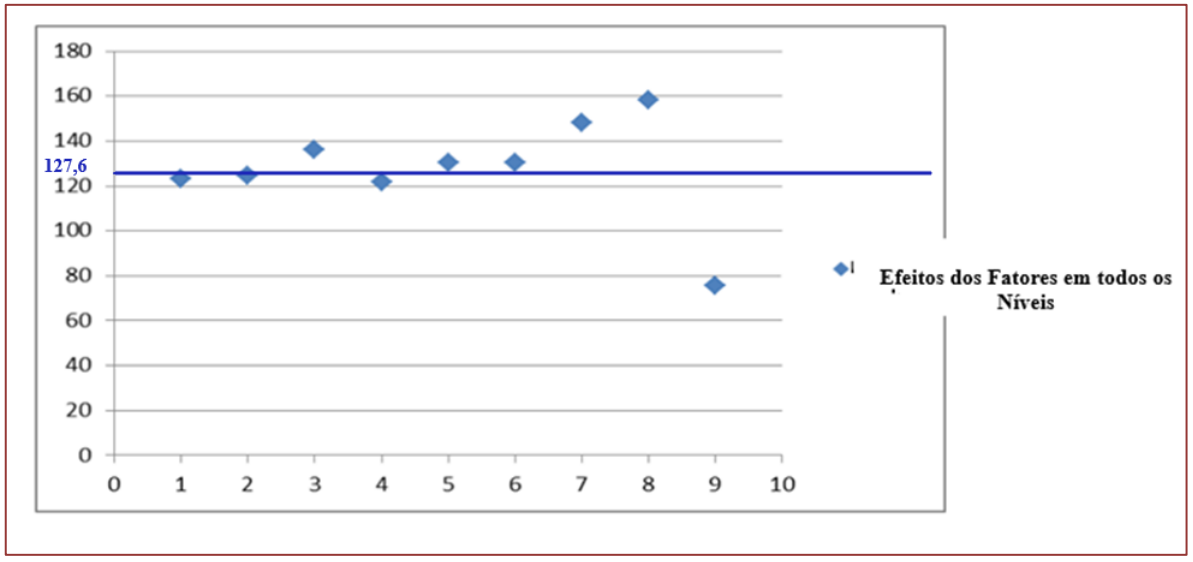
De posse dos Efeitos realiza-se a Tabela 3 e Figura 2 onde visualiza-se os Efeitos das Médias por Fator:

Tabela 3. Codificação dos Efeitos Por Níveis com sua Numeração

A1	123,07	1
A2	124,6	2
A3	136,1	3
B1	121,7	4
B2	130,5	5
B3	130,5	6
C1	148,3	7
C2	158,2	8
C3	75,6	9

Fonte: Autores (2025).

Figura 2. Cada Um dos Efeitos dos Fatores em Todos os Níveis



Fonte: Autores (2025).

Pode-se perceber claramente que o Efeito C (% de Umidade no seu Nível mais alto (No9) é o mais danoso para a Solda, pois é o que faz o valor da Variável Resposta Força da Solda ficar no seu valor mais baixo. A Linha Azul é a Média das Médias da Variável Resposta. Já aparece claramente que o grande problema para a Solda é a Umidade muito alta.

Calcula-se agora a Análise de Variância das Médias.

Primeiro Calcula-se a Soma Total dos Quadrados:

$$STQ = \Sigma (Yi - \bar{\bar{Y}}) = 13.280 \quad (5)$$

Depois a soma dos Quadrados de cada um dos Fatores:

$$SQ_A = 3(M_{A1} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{A2} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{A3} - \bar{\bar{Y}}) = 326,3 \quad (6)$$

$$SQ_B = 3(M_{B1} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{B2} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{B3} - \bar{\bar{Y}}) = 154,5 \quad (7)$$

$$SQ_C = 3(M_{C1} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{C2} - \bar{\bar{Y}}) + 3(M_{C3} - \bar{\bar{Y}}) = 12.314,7 \quad (8)$$

E Finalmente a Soma dos Quadrados do Erro subtraindo-se a Soma dos Quadrados dos três Fatores da Soma Total dos Quadrados = STQ – ($SQ_A + SQ_B + SQ_C$) = 484,5 (9)

e então de maneira análoga constrói-se a Tabela ANOVA vista na Tabela-4 calculando-se a Soma Média Quadrática (SMQ) dividindo-se o SQ dos fatores pelos seus graus de liberdade. O grau de liberdade é obtido subtraindo 1 unidade do número de Níveis de cada Fator 3-1= 2 e o Grau de Liberdade do Erro sendo o número de Graus de Liberdade Total (9) que é o número de linhas menos o somatório dos grau de liberdade de cada Fator menos 1 unidade que é da Média das Médias, portanto (9 – 2-2 -2 -1 = 2). E Finalmente a Estatística F calculada dividindo-se cada SMQ de cada Fator pelo SMQ do Erro.

Tabela 4. Tabela ANOVA para os três Fatores

Fonte de Variação	SQ	gl	SMQ	F_{calc}
A	326,3	2	163,7	0,67
B	154,5	2	77,7	0,32
C	12.314,70	2	6157,3	**25,5**
Erro	484,5	2	242,3	

Fonte: Autores (2025).

Sendo $F_{calc} \geq F_{crítico}$ o Fator é significante, e $F_{calc} < F_{crítico}$ o Fator não é significativo, como o F crítico retirado da Tabela com 9 graus de liberdade e 95% de confiança é 19 logo somente o Fator C (% de Umidade) é Significativo, como já se sabia anteriormente.

Realizando-se de forma análoga os cálculos do Fatores para a Razão Sinal Ruído encontrou-se:

$M_{A1} = 38,5$ $M_{A2} = 39,9$ $M_{A3} = 40,9$

$M_{B1} = 38,3$ $M_{B2} = 40,2$ $M_{B3} = 40,9$

$M_{C1} = 40,4$ $M_{C2} = 43,2$ $M_{C3} = 35,7$

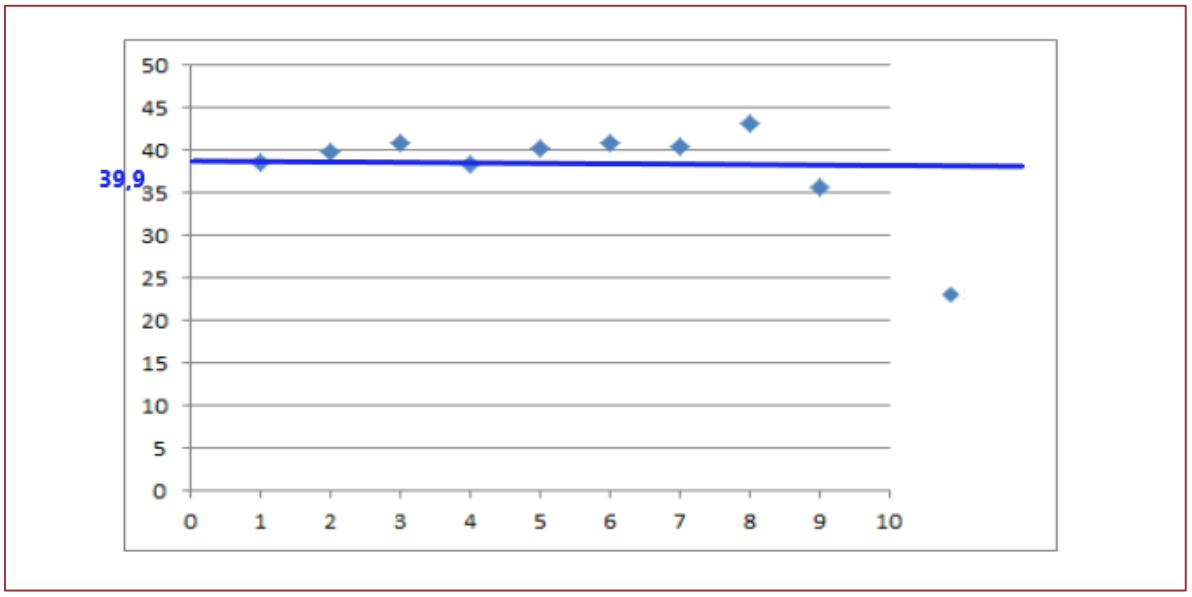
e também a Tabela de Codificação do Fatores e o Gráfico dos Efeitos, Tabela-3 e Figura-3.

Tabela 5. Codificação dos Efeitos Por Níveis com sua Numeração

A1	38,5	1
A2	39,9	2
A3	40,9	3
B1	38,3	4
B2	40,2	5
B3	40,9	6
C1	40,4	7
C2	43,2	8
C3	35,7	9

Fonte: Autores (2025).

Figura 2. Cada Um dos Efeitos dos Fatores em Todos os Níveis



Fonte: Autores (2025).

Na sequência também de maneira análoga foi realizada a Tabela ANOVA para a Razão Sinal Ruído (S/N) vista na Tabela-6.

Tabela 6. Tabela ANOVA para os três Fatores

Fonte de Variação	SQ	gl	SMQ	F_{calc}
A	8,73	2	4,37	0,39
B	10,86	2	5,43	0,44
C	86,19	2	43,10	**3,57**
Erro	24,41	2	12,21	

Fonte: Autores (2025).

Nessa situação o Fator C não foi significante mas foi Relevante porque quando a Estatística F é maior que 2 significa que o SMQ do Fator é maior que duas vezes o SQM do Fator, portanto sendo relevante mas em qualquer situação o mais importante são as informações tiradas da Média porque ela que é a Variável Resposta (Força da Solda).

5. CONCLUSÔES

Este estudo teve como objetivo mostrar a importância do Experimento de Taguchi para analisar três Fatores Tempo de Soldagem em segundos (A), Pressão em atm (B) e Percentual de Umidade (%). Os resultados comprovaram que o Fator que realmente prejudica a Solda é a Percentagem de Umidade no Nível mais alto, portanto um processo de Soldagem nunca deve ocorrer nesse Nível para o Fator C.

REFERÊNCIAS

[1] Cardoso, R. P., Reis, J. S. D. M., Silva, D. E. W., Almeida, M. da gloria diniz de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(3), 3348–3367. https://doi.org/http://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1809

[2] Correia, E. A. S., & Cardoza, J. A. S. (2011). Planejamento de experimentos no processo produtivo utilizando o método Taguchi. *GEPROS. Gestão Da Produção, Operações e Sistemas*, 55–66.

[3] Costa, M. C. B. (2011). a Importância Do Ensino Da Ferramenta De Planejamento Fatorial Para Estudantes De Engenharia. *Cobenge*, 1–7.

[4] Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, N. A. . (2023). Effect of pollution on physical and chemical water data : a multivariate statistical analysis Efeito da poluição nos dados físicos e químicos da água : uma análise estatística multivariada. *Revista de Engenharia Térmica*, *14*(5), 7353–7366. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2125

[5] Leiroz, F. D. O., Manhães, M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Using Taguchi ' s experiments part II : creating a computer for heavy games and image processing Usando as experiências de Taguchi parte II : criando um computador para jogos pesados e processamento de imagem. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(7), 12152–12164. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i7.2529

[6] Lescura, M. M., Alves, J. C., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Linear low density polyethylene film process capability analysis Análise de capacidade de processo de filme de polietileno linear de baixa densidade. *Revista de Gestão*, *14*(5), 8103–8110. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2183

[7] Moura, R. Q. De, Rodrigues, I. A. M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Using Taguchi ' s experiments part i : creating a golf ball that reaches a maximum range Usando os experimentos de Taguchi parte i : criando uma bola de golfe que atinja um alcance máximo. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(7), 11748–11757. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i7.2502

[8] Reis, J. S. da M., Neto, R. S. P., Espuny, A. L. G., Barros, J. G. M. de, Sampaio, N. A. de S., & Barbosa, L. C. F. M. (2023). New Indicators for Commercial Technical Support Development. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(5), 8272–8285. https://doi.org/0.7769/gesec.v14i5.2210

[9] Rezende, M. D., Rosa, C. S. da, Cardoso, R. P., Reis, J. S. da M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(4), 5204–5217. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978

[10] Sales, J. P. de, Reis, J. S. da M., De, J. G. M., Barros, da Fonseca, B. B., Araujo, A. H. de, Junior, Almeida, M. da G. de, Motta, L. C. F., Barbosa, Santos, G., & Sampaio, N. A. de S. (2021). Quality management in the contours of continuous product improvement. *International Journal for Quality Research*, *16*(3), 689–702. https://doi.org/10.24874/ijqr16.03-02

[11] Sampaio, N. A. de S., Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Gomes, F. M., Pereira, F. M., Ferreira, L. C., Barbosa, M., Santos, G., & Silva, M. B. (2022). Contributions to the future of metaheuristics in the contours of scientific development. *Gestão & Produção*, *29*(1), 1–19. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e099

[12] Yamada, J. T., Viana, R. S. E., Santos, R. R., Carvalho, C. P. de, Almeida, M. da G. D. de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Use of factorial design with significant interaction and Tukey ' s Test in agricultural and environmental experiments Uso de planejamento fatorial com interação significativa e teste de Tukey em experimentos agrícolas e ambientais. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(6), 9815–9828. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2335

Capítulo 8

Tipos de métodos de controle de Sitophilus spp. (caruncho) em trigo armazenado

Tainá Pinheiro da Rocha
Denisdelkian Souza Diniz
Agahilton Oliveira de Souza Junior
Bruna Heloiza Gomes da Silva
Everton Pereira Fernandes
Joselma Araújo de Amorim
Pierre Corrêa Martins
Anoar Abbas El-Aouar

Resumo: O trigo é um grão muito importante como fonte nutricional e econômica, pois dele derivam os produtos mais comuns da base da alimentação humana e alimentos para animais, movimentando um mercado milionário. No Brasil se consome cerca de 12 milhões de toneladas de trigo ao ano, enquanto se produz em torno de 6 milhões de toneladas de grãos. A ssim, faz-se necessário a importação e o armazenamento desse cereal em grandes quantidades em silos de grãos, expondo-o a infestação de insetos nesses ambientes. Atualmente, as perdas de qualidade dos grãos de trigo estocados atingem cerca de 20% da produção brasileira todos os anos, causadas pela infestação de insetos, principalmente os representantes do gênero *Sitophilus* spp., conhecidos como caruncho e gorgulho. O objetivo desse trabalho foi identificar e comparar os métodos para controle de caruncho em trigo, sob condições de armazenamento, apresentados pela literatura. Foi realizada uma seleção de textos científicos de estudos de inibição e eliminação de carunchos no armazenamento de grãos de cereais em plataformas científicas de referência, tal como, google acadêmico, periódicos capes e scielo Brasil. Foram selecionados 10 trabahos, publicados na última década, que apresentavam métodos diferenciados para o controle da infestação do carucho em grãos de trigo e arroz. As informações coletadas demostraram a existência de diversos tipos de materiais com ação inseciticida no desenvolvimento do *Sitophilus* em grãos de trigo e arroz, tais como: ozônio gasoso; gás fosfina; óleos essenciais, constituintes de plantas medicinais, agentes condimentares e aromáticos; terras diatomáceas; e embalagens. Identificou-se 10 métodos de atuação desses materiais aplicados na forma gasosa, líquida e sólida. Observou-se que todos os estudos revisados apresentaram resultados relevantes no que tange o controle de *Sitophilus oryzae* com os diversos métodos de controle. Porém, verificou-se a falta de informação para outras espécies de Sitophilus, principalmente a insuficiência de metodologia para a avaliação dos impactos dos seus tratamentos na fisiologia das sementes. Além disso, poucos estudos são feitos no Brasil e no mundo com foco no gorgulho do trigo.

Palavras-chave: *Triticum* spp., *Sitophilus* spp., caruncho, métodos de controle.

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum spp.*) foi uma das primeiras culturas alimentares domesticadas e, durante 8.000 anos, foi o alimento básico das principais civilizações da Europa, Ásia Ocidental e Norte da África. Foi também, a partir do trigo, que estudos de melhoramento de plantas puderam ser desenvolvidos (FAO, 2002).

Atualmente, o trigo continua se apresentando como um grão muito importante. Dele derivam os alimentos mais comuns da base da alimentação humana, como, pães, bolos, biscoitos e massas em geral. Além da importância para alimentação humana, o trigo é um grão que se apresenta como fonte de alimentação de animais e de importância industrial para a produção de várias substâncias como glucose, óleos e álcoois (Sarwar *et al.*, 2013). Por sua significância para alimentação humana, o trigo é muito importante economicamente, responsável pela movimentação financeira milionária muldialmente.

O Brasil consome cerca de 12 milhões de toneladas de trigo todos os anos, mas sua produção nacional é um pouco superior a metade do que se consome, tornando-o um grande importador mundial devido ao fato de não ser autossuficiente para suprir o abastecimento der suas demandas internas (ABITRIGO, 2008; Ferreira, 2003). Sabe-se ainda, que desde a colheita, transporte, e armazenamento do trigo, muitos fatores podem influenciar na qualidade e, consequentemente, utilização desse grão, estimando-se que esses fatores impactam cerca de 20% da produção brasileira todos os anos (Campos, 2008).

Entre os principais fatores que afetam a produtividade e qualidade do trigo, estão as perdas causadas pelos insetos durante o armazenamento dos grãos. Segundo Goergen (2016), essas perdas podem equivaler ou superar aquelas provocadas pelas pragas que atacam a cultura no campo. Para Hong *et al.* (2018), os *Sitophilus spp*., também conhecidos como caruncho e gorgulho, são conhecidos mundialmente como as pragas dos grãos armazenados, apresentando uma distribuição cosmopolita. A fêmea do caruncho faz um buraco no grão, põe um ovo, e sela o buraco com secreção de cera e, dessa forma, a larva se desenvolve, alimentando-se no seu interior, tornando-o oco.

Diante da problemática relacionada à infestação de caruncho no armazenamentodos de grãos, esse trabalho pode possibilitar uma revisão das informações de pesquisa e de melhoramento dos métodos para o controle de infestação do caruncho nos grãos de trigo. Indicando, apresentando e comparando tratamentos e técnicas analíticas para reduzir a grande perda ocorrida na etapa de armazenamento dos grãos para a produção brasileira de trigo decorrente do ataque do caruncho. A resistência desses insetos aos métodos tradicionais de controle dessa praga aumentou, tornando-os menos eficazes e necessitando-se aprimorá-los ou desenvolver outras técnicas para o efetivo combate a sua infestação em grãos de trigo. Assim, o seu objetivo é identificar na literatura os métodos para controle de caruncho em trigo sob condições de armazenamento, explicando e discutindo os seus procedimento

2. REVISÃO DA LITERATURA

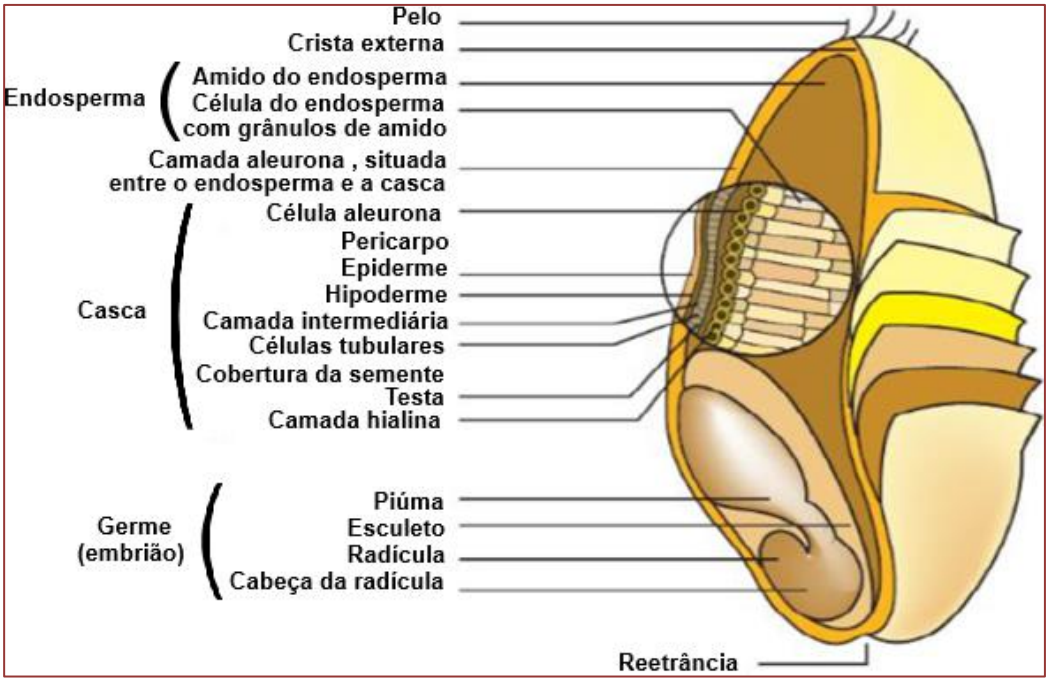
2.1. CARACTERÍSTICAS DO TRIGO

O trigo pertence à família *Poaceae* (similar a *Gramineae*), à subfamília *Pooideae* (similar a *Festucoideae*) e ao gênero *Triticum L.* (Scheeren; Castro; Caierão, 2015). Já as espécies são classificadas conforme seu número de cromossomos, por exemplo, *Triticum durum* tem

28 cromossomos, *Triticum aestivum* com 42 cromossomos (Scheuer *et al.*, 2011). As variedades se distinguem pela aparência física, proporção de proteína na farinha, qualidade da proteína, produtividade e demais fatores (ABITRIGO, 2008). Estruturalmente o grão do trigo possui semente única, onde se encontra o endosperma e o germe, envolvida pelo pericarpo que age como capa protetora (Ferreira, 2019).

O grão pode ter cor branca, âmbar ou vermelha (Bocharova, 2020). Contém cerca de 12 a 18 % de pericarpo, 80 a 85 % de endosperma e 2 a 3 % de gérmen e é a partir do endosperma que se obtém a farinha de trigo (Pataco, 2016). Já o germe do trigo é responsável pelo desenvolvimento de uma nova planta sendo rico em açúcares, gorduras, vitaminas, proteínas e minerais (Oro, 2013). Durante o processo de moagem ele é separado da farinha, por apresentar uma quantidade alta de gordura (2,5%), que pode interferir na qualidade de conservação da farinha de trigo (Ferreira, 2019). Pomeranz (1988) relata que o grão de trigo é composto em sua maioria de carboidratos (65 a 75%), água (12 a 14%), seguido de fibras, amido e proteínas (7 a 12%), e de pequenas quantidades de lipídeos (2 a 6%). No grão também é possível se encontrar micronutrientes, principalmente magnésio e as vitaminas dos complexos B e E (Hemery, 2007). A Figura 1 apresenta uma ilustração da estrutura do grão de trigo.

Figura 1: Estrutura do Grão de Trigo



Fonte: Brandão e Lira (2011).

2.2. IMPORTÂNCIA DO TRIGO

De acordo com a Organização Alimentar e agrícola das Nações Unidas (FAO, 2002), além do cultivo principal para a alimentação humana, o trigo também é importante fonte de alimentação animal e fornecimento de forragem, indústria de adesivos, aditivos de papel, vários outros produtos e até mesmo na produção de álcool, especialmente em anos em

que as colheitas são muito afetadas pela chuva e quantidades significativas de grãos se tornam inadequadas para uso alimentar.

As três espécies mais importantes são: *Triticum aestivum*, *Triticum compactum* e *Triticum durum*, sendo 90% do trigo produzido mundialmente da espécie *Triticum aestivum*, conhecido como trigo farináceo, o qual é mais consumido no Brasil e no mundo, apresentando um teor de proteína em torno de 15%. O *Triticum durum* representa 5% de todo trigo produzido, destinado a fazer massas (macarrão) por conter um glúten mais resistente que permite uma textura firme após o cozimento. O *Triticum compactum* é utilizado para a fabricação de biscoitos e bolos mais macios e menos crocantes, o qual possui um menor teor de glúten (ABITRIGO, 2008; Manfron; Lazzarotto; Medeiros, 1993).

Os consumidores dos alimentos derivados do trigo sabem que podem encontrá-los em qualquer parte do mundo e a preços acessíveis (Tomasini; Ambrosi, 1998). Dessa forma, de acordo com dados da ABITRIGO (2008), o consumo anual médio de trigo pela população mundial é de mais de 700 milhões de toneladas, o Brasil consome em média 12 milhões, produzindo apenas pouco mais da metade do que consome, tendo assim, que importar de países como Bélgica, Argentina, Holanda, França e China.

Além do volume de produção, sabe-se que a importância econômica do trigo vai além, através da agregação de valor que ocorre ao longo das cadeias de produção e transformação, representada pela venda do grão, aquisição de insumos, produção de pão e derivados da farinha de trigo, possibilitando assim, uma cadeia responsável pela manutenção de milhares de empregos e por uma geração financeira bilionária (Tomasini; Ambrosi, 1998).

2.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DO TRIGO

Vários fatores podem influenciar a qualidade do trigo, desde a cultura até o armazenamento. Acerca da cultura, a planta do trigo tem preferências, sua cultura depende de fatores fisiológicos, processo planta-ambiente, constituição genética do trigo, qualidade do solo, radiação solar, intensidade luminosa, temperatura e água (Manfron; Lazzarotto; Medeiros, 1993). A permanência do grão na lavoura após a maturação fisiológica devido ao atraso na colheita também pode contribuir para alterações indesejáveis na qualidade do trigo (Carneiro *et al.*, 2005).

Além dos cuidados com a cultura, a colheita também é importante, pois o trigo colhido seco na planta apresenta qualidade tecnológica inferior e menor conservabilidade ao armazenamento em comparação com o trigo colhido com umidade superior a 14% e seco artificialmente. Já a secagem deve ser feita até a obtenção de um grau da umidade conveniente, a qual conforme recomendação é de 13%, desse modo, todo o produto colhido com umidade superior é indicado a secagem com temperatura máxima de 60°C, e lentamente para evitar danos físicos no grão, e manter a qualidade do mesmo (Goergen, 2016).

Pragas e doenças podem afetar a qualidade do trigo, e a maioria das doenças que afetam as plantas são causadas por microrganismos parasitas, como os fungos, e também podem ser afetados por infecções bacterianas e virais, sendo que no Brasil, os fitovírus são transmitidos por pulgões (vírus do nanismo amarelo da cevada) ou por um fungo de solo (vírus do mosaico do trigo) (Reis; Fernandes; Picinini, 1988).

A presença de insetos nos armazéns alteram a qualidade desse produto e atualmente se apresenta com uma das principais causas das perdas de armazenamento de grãos, demonstrando superar até aquelas provocadas pelas pragas que atacam a cultura no campo (Fontes; Almeida Filho; Arthur, 2003).

Dentre os principais danos causados pelos insetos durante o armazenamento, estão: a redução de matéria seca, perdas de peso e de poder germinativo, disseminação de fungos, deposição de dejetos na massa de grãos e depreciação dos valores nutricional e comercial do trigo (Goergen, 2016).

Dentre os insetos que atacam os grãos armazenados, o *Sitophilus spp.* é um dos mais importantes, pois pode causar sérios danos ao grão, podendo alterar a qualidade tecnológica e nutricional do produto final (Boiça Júnior; Lara; Guidi, 1997).

2.4. MÉTODOS DE CONTROLE DE QUALIDADE DE GRÃOS

Durante a colheita deve ser levado em consideração a regulagem da colhedora, para variar respeitando as condições de umidade que oscilam naturalmente à medida que a colheita vai sendo processada. O critério do período de maturação também é importante para a qualidade do grão do trigo, e por consequência para a panificação da farinha (Gutkoski *et al.*, 2008).

Na manipulação pós-colheita, as etapas como secagem, armazenamento, manejo integrado de pragas, tratamento curativo, tratamento preventivo, monitoramento de fungos e insetos, manejo de contaminantes, e atenção com resíduos de inseticidas são de extrema importância (Reginato *et al.*, 2014).

Durante a fase de armazenamento, a qualidade de limpeza e higienização das instalações, máquinas, correias transportadoras é imprescindível no combate de pragas. Já no tratamento preventivo é utilizado tratamento químico aplicando inseticidas líquidos, como *deltamethrin*, *bifenthrin* e *lambdacyhalothrin*, sobre os grãos após resfriamento da secagem, no momento de carregar o armazém ou no momento de ensaque (Lorini *et al.*, 2015). No Brasil, Sousa *et al.* (2009) informam que o tratamento curativo, também conhecido como "expurgo" de grãos empestados por insetos, como, por exemplo, *Sitophilus zeamais* em produtos armazenados, é realizado principalmente com o emprego do fumigante fosfeto de alumínio. Além dos métodos citados, a Instrução Normativa N° 29 de 8 de junho de 2011 (Brasil, 2011) ainda contribui na determinação de requisitos técnicos obrigatórios a respeito de questões como localização geográfica de armazéns, sistema de segurança, monitoramento de resíduos tóxicos, isolamento, para armazenagem do trigo, assim como para grãos como milho e soja.

Todas essas operações visam obter a melhor qualidade do produto, para isso, sabe-se que é desejável que os grãos possuam baixo teor de umidade, alto peso específico, baixa degradação de componentes nutritivos, baixa susceptibilidade à quebra, baixa porcentagem de grãos danificados, alta viabilidade de sementes e ausência de pragas, fungos ou bactérias (Reginato *et al.*, 2014).

Na busca por novos métodos em diversas etapas, é ainda possível encontrar desde estudos que visam o controle de pragas, tendo como foco encontrar novas substâncias e obter inseticidas botânicos naturais para o uso direto (Sousa, 2009), o controle da atmosfera com baixo nível de oxigênio ou de aplicação de bio-dióxido de carbono buscam o controle de pragas (Kumar *et al.*, 2022), até aqueles que utilizaram cabos com sensores acústicos

com o método convencional de amostragem de grãos para monitorar populações de insetos (Hagstrum; Flinn; Shumamn,1996). Demonstrando brevemente a variedade de possibilidades de investigação no que tange o objetivo de descoberta de novos métodos de controle de qualidade de grãos, com foco em insetos.

Além disso, esses estudos focam em grãos de arroz afetados por *Sitophilus spp.* como, por exemplo, o estudo de Zanão (2009), que verificou o efeito da radiação gama nas características físico-químicas do arroz polido e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae*; de milho. Job *et al.* (2020) investigaram o recobrimento de sementes de feijão-miúdo com agrominerais no controle de *Sitophilus spp*. demonstrando a variedade de grãos alvos desses insetos.

2.5. O GÊNERO *SITOPHILUS*

O gênero *Sitophilus spp.* pertencem à família *Curculionidae*, são consideradas pragas primárias e são umas das mais danosas para grãos armazenados em todo o mundo, com infestação podendo iniciar ainda na lavoura (Pereira; Salvadori, 2006). Morfologicamente *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zea*mais são espécies muito semelhantes, os adultos medem de 2,0 mm a 3,5 mm de comprimento, possuem coloração castanho-escura com manchas mais claras nas asas visível logo após a emergência e podem infestar juntas a mesma massa de grãos ou sementes (Lorini, 2008). O *Sitophilus granarius* é semelhante ao *S. zeamais* e *S. oryzae*, no entanto, apresenta ausência das asas internas e possui uma forma mais oval das pontuações no protórax e são mais comuns nas regiões temperadas, ao contrário de *S. zeamais* e *S. oryzae* que são comuns em regiões tropicais (Antunes, 2010).

As fêmeas de ambas espécies põem ovos em pequenos orifícios que são abertos com a mandíbula e posteriormente secretam uma substância gelatinosa que serve para vedar o orifício, tornando mais difícil conseguir visualizar a olho nu. Cada fêmea tem a capacidade de pôr 282 ovos, em período de 104 dias, com período de encubação de 3 a 6 dias e 34 dias desde do início do ciclo do ovo até a emergência do adulto. Os machos vivem até 142 dias e as fêmeas 140 (Cardoso, 2009).

Como visto, *Sitophilus spp.* apresentam elevado potencial de reprodução, e tanto sua larva como o adulto são prejudiciais aos grãos e sementes, triticale, etc. (Lorini, 2008).

Sobre o potencial de reprodução, Silva (2001) estudou a espécie *S. zeamais* e constatou a existência de temperatura mais ideal para o maior crescimento populacional, ocorrendo a 28 °C, e menos ideais sendo as temperaturas drasticamente maiores ou menores que 28 °C. Ele constatou ainda, que, na temperatura de 36 °C, todas as populações foram extintas.

Já no que tange os efeitos do *Sitophilus spp.* sobre os grãos, Fontes, Almeida Filho e Arthur (2003) apontam a perda de peso do arroz (*Oryza sativa L.*) provocada por *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zeamais*, e que a essa perda varia de acordo com a espécie do grão e do caruncho.

3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo efetuou um levantamento bibliográfico acerca dos principais métodos para controle de caruncho em trigo, sob condições de armazenamento. A revisão de literatura é um método que tem como finalidade sintetizar resultados obtidos em pesquisas sobre um tema ou questão, de maneira sistemática, ordenada e abrangente. Deste modo, o revisor/pesquisador pode elaborar uma revisão com diferentes finalidades, podendo ser direcionada para a definição de conceitos, revisão de teorias ou análise metodológica dos estudos incluídos de um tópico particular (Tachizawa, 2015).

3.2. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para a realização desta pesquisa, foi realizado o percurso metodológico descrito por Souza, Silva e Carvalho (2010) que obedece às seguintes fases: (1) elaboração da questão norteadora; (2) busca na literatura; (3) coleta de dados; (4) análise crítica dos estudos incluídos; (5) discussão dos resultados e (6) apresentação da revisão. Para tal, primeiramente foi elaborada a seguinte questão norteadora, com base na estratégia PICO: "Quais os tipos de métodos de controle de *Sitophilus spp.* (caruncho) em Trigo Armazenado?"

Como critérios de inclusão, delimitaram-se apenas artigos completos, disponíveis eletronicamente no período entre os anos de 2011 e 2022, em português e inglês, e que respondam à questão norteadora. Foram excluídas cartas ao editor, editoriais, relatos de caso, artigos em duplicidade e que não atendam diretamente a temática investigada.

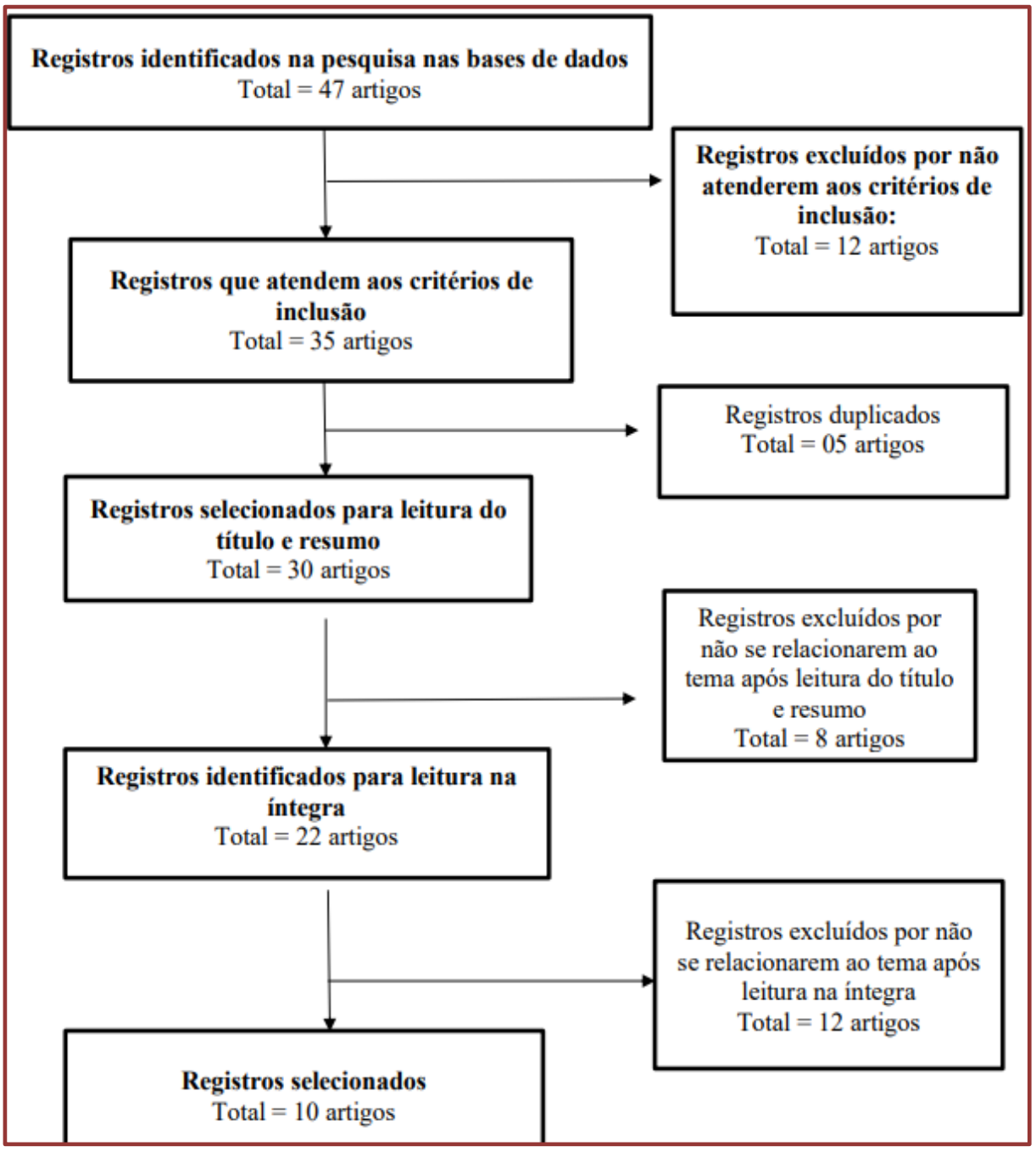
3.3. COLETA DE DADOS

Em seguida, foi realizado um levantamento bibliográfico por meio de busca eletrônica nas seguintes bases de dados disponíveis na *Scientific Electronic Library* Online (Scielo), Google Acadêmico, utilizando, como estratégia de investigação, os descritores: Trigo, *Triticum Caruncho*; Gorgulho; Armazenamento; Controle; Expurgo; *Sitophilus spp.*, associado pelo operador booleano "AND".

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Diante da busca foram encontrados: 47 literaturas que abordava o tema, documentos estes que foram selecionados e analisados utilizando os critérios de inclusão e exclusão especificados na metodologia da presente pesquisa. Após a utilização desses critérios restaram 10 estudos. Frente às hipóteses levantadas, apresenta-se na Figura 2 um fluxograma de seleção dos estudos para a revisão.

Figura 2: Fluxograma de seleção dos estudos para a revisão



Fonte: Autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Foram selecionados 10 artigos, e feita uma pequena identificação com informações como título, objetivo e breves conclusões para melhor compreensão dos resultados e discussão. Nessa pesquisa foram identificados as seguintes informações: dois (02) estudos que testaram como métodos de controle óleos vegetais; três (03) que testaram pós de plantas, um (01) que testou extrato de planta, um (01) que testou inseticida, um (01) que testou a

aplicação de ozônio, dois (02) que testaram monoterpenos, um (01) que testou fenilpropenos, um (01) que testou gás fosfina, dois que testaram terra de diatomácea e um (01) que testou sacos PICS. Podendo-se constatar uma variedade de 10 métodos de controle de caruncho em trigo, estes ainda sofrem variações se distinguindo em mais, quando se trata, por exemplo, da variedade de óleos vegetais testados em cada estudo, que objetivaram o devido teste.

4.2. MÉTODOS DE CONTROLE PARA CARUNCHO EM TRIGO ARMAZENADO

Conforme descrito anteriormente, dois estudos testaram óleos vegetais, sendo eles Derbalah e Ahmed (2011) e Hamed *et al.* (2012). Derbalah e Ahmed (2011) investigaram a capacidade de proteção do óleo essencial e pó de *Mentha viridis* contra *S. oryzae* em grãos de trigo, para isso foi feito experimento em ambiente controlado que continha grãos de trigo distribuídos em latas herméticas, óleo e pó comprados em supermercado. O experimento foi realizado com três tipos de concentração tanto para o pó quanto para o óleo de hortelã e inseticida Malathion, e como tratamento controle foi adotado água. Cada concentração de cada composto foi feita em triplicata que continha 20g de grãos de trigo. Cada triplicata foi feita com 1 ml de óleo essencial de hortelã nas concentrações de 100, 200 e 300 ppm, 1 ml de malathion nas concentrações de 0,3, 0,6 e 1,2 ppm e 0,5, 1 e 1,5% p/p (pó de hortelã/grãos de trigo), sendo todos infestados posteriormente com 10 adultos de *S. oryzae* previamente colonizados em laboratório e deixados guardados durante duas semanas. Após as duas semanas, foi contada a quantidade de insetos mortos em cada lata para identificar a porcentagem de mortalidade em cada tratamento. Dessa forma, obteve-se como resultado que *S. oryzae* emergidos diminuiu significativamente com todos os tratamentos em comparação com o controle, sendo o óleo de malation, que é o tratamento com inseticida geralmente indicado, o mais eficaz, seguido do óleo de hortelã e pó. Em todos os tratamentos estava diretamente relacionado o aumento da concentração com a eficácia do tratamento. Já no que tange o impacto na germinação, todos os tratamentos resultaram em um leve efeito na germinação de grãos de trigo, dentre eles o óleo de hortelã foi o que mais reduziu a germinação, seguido do óleo de malation e do pó da planta de hortelã. Por fim, o estudo indica a possibilidade de maior eficiência do óleo de hortelã comparado ao pó, pois o primeiro tem maior capacidade de penetrar no corpo e ovos do inseto. No entanto o autor considera que tanto o óleo como o pó tiveram uma alta eficiência estatisticamente na progênie e mortalidade de adultos, indicando-os como alternativas ao controle químico de pragas de produtos armazenados como *S. oryzae*.

O estudo de Hamed *et al*. (2012) também avaliou o impacto de tratamentos com óleos vegetais em *S. oryzae*. No entanto, eles testaram a eficácia dos óleos de *Apium graveolens* (aipo), *Cinnamomum camphora* (cânfora) e *Allium sativum* (alho). Para isso, os óleos foram diluídos em éter para produção de estoque em várias concentrações, foi colocado o volume de 1 ml dos óleos em vidros separados que continham dez gramas de trigo e em seguida foi feita a agitação dos tubos e espera da evaporação do éter por 30 minutos utilizando ventilador. Todas as concentrações, que foram no mínimo 5 para cada óleos, foram feitas em triplicata, também como o controle com éter. Foram introduzidos 25 adultos *S. oryzae* em cada tubo e a mortalidade de insetos foi calculada após 3, 5, 7 e 14 dias após a exposição. Por fim, foi constatado, em análise estatística, que os três óleos inibiram completamente a emergência dos adultos, e a mortalidade está diretamente relacionada à concentração de óleo e ao período de exposição. Em contrapartida, ele apresenta que a diferença na mortalidade ocasionada pelos três óleos, estão provavelmente relacionadas às diferenças em suas volatilidades, e assim como o estudo

de Derbalah e Ahmed (2011), eles apontam que a supressão da emergência de adultos pode ser devido à sua penetração no endosperma e nas camadas germinativas ou então devido aos óleos terem coberto a camada externa dos grãos servindo assim como veneno alimentar para os adultos.

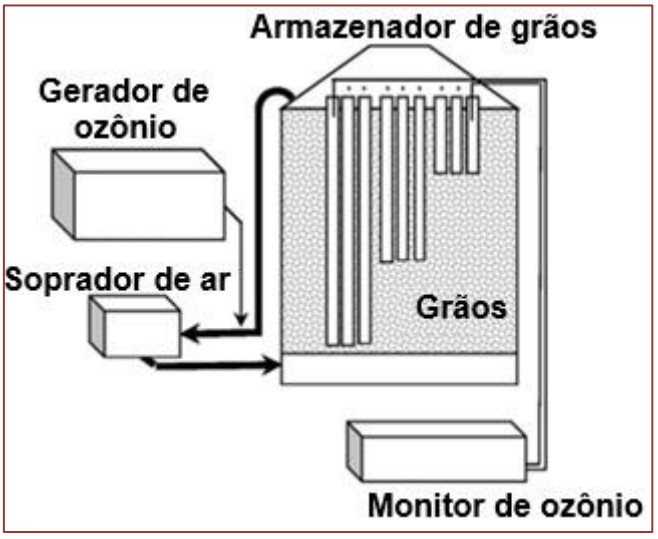
Ao que se trata dos pós de plantas, além de Derbalah e Ahmed, (2011), Akter Munjuri e Akter Salma, (2016) testaram o efeito do pó da Folha de Mehogoni, da folha de Neem, da folha de calêndula, do alho, e da folha de Bel, contra *S. oryzae* nos grãos de trigo armazenado*S.* Para isso, foi realizado experimento em condições laboratoriais em 6 recipientes, cada um com 100g de grão de trigo e 1g de cada pó por recipiente, sendo então 5 recipientes cada um com um dos 5 tratamentos, e o último recipiente sendo o controle. Posteriormente, foi adicionado em cada tratamento 40 adultos de *S. oryzae* e o experimento foi repetido com 3g e 5g dos pós, e cada uma das concentrações teve o experimento repetido 4 vezes. O número de insetos mortos foi contado aos 7, 14 e 28 dias, após os 28 dias, os adultos foram peneirados para contabilizar o número de emergência dos adultos 35, 40 e 45 dias após a liberação dos adultos. Ao final, obtiveram como resultado que, em todas as três concentrações dos tratamentos, o menor número de a emergência de adultos foi registrada no caso do tratamento com folhas de nim, podendo-se dizer que, embora a folha de aguano, a folha de calêndula, o alho em pó e a folha de bel possuam alguma propriedade inseticida, a folha de nim foi considerada a melhor para controlar o gorgulho em condições de armazenamento, foi constatado também que o número de insetos mortos aumentou com o aumento da taxa do tratamento e o maior percentual de mortalidade também foi encontrado no tratamento com o pó das folhas de nim (63,25%), seguido do pó da folha de aguano (50,25%). Já no caso do alho em pó houve diminuição de 37,75%, nas folhas de calêndula e de bel o descrécimo foi de 35% e 33,50%, respectivamente, no entanto, foi não constatada diferença significativa estatística em relação ao material de controle para esses materiais.

O trabalho de Goergen (2017) testou o extrato aquoso e hidroalcóolico de Schinus terebinthifolius, conhecida como aroeira-vermelha contra *Sitophilus spp.* em grãos de trigo armazenado em ambiente laboratorial controlado. Para isso, foi realizado o experimento em 10 recipientes de plástico nas quais foram colocadas 200 g de grãos de trigo, e aplicado 2 ml dos extratos aquoso ou hidroalcóolico da aroeira-vermelha a 5% em cada recipiente, esse experimento foi repetido com o extrato hidroalcóolico a 15% também. Por fim, foram adicionados 10 adultos do gorgulho *Sitophilus spp.* em cada tratamento e feita a contagem a cada três dias até o nono dia do experimento e posteriormente a cada sete dias até totalizar os 51 dias de armazenagem. O trabalho obteve como resultado que, inicialmente, até o dia 37, não houve diferença significativa na população de insetos em nenhum dos tratamentos, no entanto, a partir do dia 44 o extrato aquoso resultou em um menor número de insetos vivos, demonstrando-se mais efetivo para o controle dos gorgulhos, também como, a partir do dia 37 o extrato aquoso apresentou maior eficácia sobre o controle de larvas e ovos do inseto. Em todos os casos os tratamentos com extratos tendem a seguir a mesma variação, vão aumentando sua eficácia em função do tempo até atingir o ponto máximo de controle e em seguida o efeito do extrato decai, proporcionando o aumento da população de gorgulho. Como descrito anteriormente, o melhor resultado obtido foi através do extrato aquoso, mas o estudo aponta que, este atingiu uma eficácia máxima de 61%, enquanto eles identificaram na literatura que se deve considerar um inseticida eficaz quando este apresentar eficácia mínima de 80%, mas que, no entanto, alguns estudos também consideram com eficácias menores que 80%. Por fim, o estudo conclui que os extratos apresentaram efeito sobre a

emergência e também sobre os adultos de *Sitophilus spp.* em trigo armazenado. Sendo que, o extrato aquoso apresenta ter efeito sobre as larvas e na oviposição do *Sitophilus spp.*, enquanto o extrato hidroalcoólicos maior controle sobre os adultos por ter melhor eficácia nos primeiros dias de tratamento. O autor traz ainda que, as propriedades inseticidas nem sempre devem ser focadas na mortalidade do inseto, que efeitos na oviposição, por exemplo, seria importante, levando em consideração que para se alcançar a mortalidade, é necessária uma concentração mais elevada do produto, podendo tornar a técnica inviável.

Além de estudos que testaram como método de controle produtos como óleos, pós e extratos, todos advindos da botânica, também foi encontrado outros estudos como o de Bonjour *et al.* (2011) que investigou a eficácia da fumigação com ozônio em pragas de grão de trigo armazenado. Tais pesquisadores montaram um gerador de ozônio e a caixa de tratamento com ozônio com um sistema de fumigação em circuito fechado composto por PVC e dutos conectados a um ventilador centrífugo selado. A função do ventilador é puxar o ar do headspace do compartimento e injetá-lo de volta no compartimento plenário. O ar então sobe através do piso perfurado, passando pela massa de grãos, e voltando ao *headspace* para circular novamente. É possível visualizar esse sistema no desenho esquemático demonstrado na Figura 3.

Figura 3: Sistema de fumigação em circuito fechado



Fonte: Adaptado de Bonjour *et al.* (2011).

Os experimentos de campo foram conduzidos em caixas de aço contendo 13.600 kg de *Triiticum aestivum L.*, trigo duro, sendo uma com ozônio e o segundo recipiente serviu como controle. Os carunchos foram colocados em caixas em tubos de amostragem para testar concentrações de ozônio de 0, 25, 50 e 70 partes por milhão por volume (ppmv) por 1, 2, 3 e 4 dias. E foi obtido como resultado que os adultos de *Sitophilus oryzae* foram os mais suscetíveis com 100% de mortalidade alcançado após 2 dias em todos os tratamentos com ozônio. No entanto, alguns descendentes foram produzidos em todas as concentrações e períodos de exposição.

Já Saad e Abdelgaleil (2018), testaram o efeito de seis monoterpenos, e dois fenilpropenos na mortalidade e progênie de *S. oryzae* em trigo armazenado. Os seis monoterpenos foram (-)-citronelal, p-cimeno, (-)-mentona, α-pineno, α-terpineno e (−)-terpinen-4-ol e os dois fenilpropenos foram a trans-cinamaldeído e o eugenol. Para isso, foram colocadas em potes de vidro 50g de sementes de trigo livre de infestação, cada pote foi tratado com a distribuição de 1ml de um dos monoterpenos ou fenilpropenos nas concentrações de 0,5, 1,0 e 5,0 g/kg, ou então com acetona, no caso do controle e introduzidos vinte adultos de *S. oryzae* separadamente em cada frasco. Antes da inserção dos adultos foi esperado por 30min a evaporação do solvente e cada replicata foi repetida 4 vezes. Após 14 dias do tratamento foi contabilizada a mortalidade de adultos de *S. oryzae* e após 45 e 90 dias, foi contabilizado o número de adultos emergidos de *S. oryzae*. Além disso, o estudo também avaliou a capacidade de germinação das sementes de trigo após o tratamento e a porcentagem de perda de peso do trigo após 90 dias. Tais pesquisadores identificaram que, em todas as concentrações, os dois fenilpropenos foram os que apresentaram melhor resultado, sendo que, nas concentrações de 1,0 e 5,0 g/kg alcançaram 100% de mortalidade dos adultos de *S. oryzae*, já os monoterpenos tiveram resultados menos satisfatórios quando comparados com os fenilpropenos, mas ainda assim quando testados na maior concentração, todos alcançaram 100% de mortalidade dos adultos de *S. oryzae*, exceto p-cimeno e α-pineno. Importante ainda observar que, na menor concentração, nenhum monoterpeno teve resultado significativo quando comparado com o controle. Quando se trata do impacto dos tratamentos na progênie, chegou-se ao resultado que após 45 dias nenhuma progênie foi observada no trigo tratado com trans-cinamaldeído em todas as concentrações, também como nenhuma progênie foi detectada em trigo tratado com (−)-citronelal, eugenol, (−)-mentona e (−)-terpinen-4-ol nas concentrações de 5,0g/kg. Após 90 dias do tratamento, todos os compostos testados produziram redução significativa da progênie, exceto α-pineno na concentração de 5,0 g/kg. no entanto os resultados sempre se mostraram melhores após 90 dias do tratamento do que após 45 dias. Já quando se trata do efeito desses monoterpenos e fenilpropenos na capacidade de germinação, trans-cinamaldeído e p-cimeno.foram os únicos que afetaram a germinação. Dessa forma, conclui-se que o trans-cinamdeído e o eugenol podem ser eficientes protetores de sementes contra *S. oryzae*e apesar de outros compostos também tenham causado forte atividade inseticida contra *S. oryzae* em relação à mortalidade de adultos, mas observando que as sementes de trigo destinadas à semeadura não sejam tratadas com o trans-cinamdeído. Além disso, demonstrou que os monoterpenos e fenilpropenos testados, particularmente trans-cinamaldeído, (−)-citronelal, p-cimeno, eugenol, (−)-mentona e (−)-terpinen-4-ol protegeram o trigo dos danos causados por *S. oryzae* por 90 dias na concentração de 5,0 g/kg. Sendo assim, os autores indicam que possivelmente a proteção completa do trigo tratado observada é atribuída à alta mortalidade de adultos e ovos de *S. oryzae* após os tratamentos.

Ferreira (2012) testou gás fosfina, *pirimiphos-methyl* e pó inerte. Para isso, ele segregou quatro lotes de sementes de trigo e aplicou cada tratamento inseticida em um lote, cada lote possuía 1.850 kg de grãos de trigo, acondicionados em sacaria de papel multifoliado com capacidade para 25 kg, deixando o quarto lote, de 25 kg, como testemunha sem aplicação de inseticida. Ao contrário dos estudos anteriores, esse autor não infestou intencionalmente os lotes, fazendo seu estudo em cima de uma possível infestação natural e monitorando os lotes quinzenalmente durante todo o período experimental, que foi de seis meses. Ele também avaliou a germinação, emergência e vigor (envelhecimento acelerado) das sementes em relação aos tratamentos, coletando mensalmente sementes dos lotes. Para o teste de germinação era coletado 50 sementes por mês de cada lote e

semeadas entre quatro folhas de papel substrato umedecidas e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, para o de emergência também foram coletadas 50 sementes de cada lote e colocadas em caixas plásticas contendo uma camada de areia lavada esterilizada, foram efetuadas irrigações periódicas e os resultados também foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas. Ao final do seu estudo, ele contatou que os tratamentos com inseticidas foram eficazes na prevenção e controle de pragas nas sementes de trigo armazenadas, deixando-as isentas de infestação. No que tange as avaliações de germinação e avaliações de emergências das sementes que foram dispostas, obteve-se como resultado que os tratamentos empregando fosfina, inseticidas líquidos e terra de diatomáceas não afetaram a qualidade fisiológica e não diferiram entre si durante as épocas de avaliação, no entanto, as que não foram submetidas aos tratamentos inseticidas apresentaram germinação nula aos 90 dias e emergência aos 120 dias de armazenamento. Já em relação ao vigor tanto as sementes tratadas com inseticidas quanto as não tratadas apresentaram redução de vigor a partir de quatro meses de armazenamento, apresentando, em comparação com o início do armazenamento, redução de 26 pontos percentuais nas sementes tratadas com fosfina e 20 pontos percentuais nas sementes que receberam terra de diatomáceas. O autor conclui que as ocorrências de diminuição nos pontos percentuais relacionados às qualidades fisiológicas das sementes após os 6 meses de avaliação podem ser atribuídas às condições ambientais do período de armazenamento, fato natural do armazenamento.

Athanassious, Kavallieratos e Lazzari (2014) testaram a eficácia inseticida da terra de diatomácea Keepdry® como protetor do grão contra *Sitophilus oryzae*. Para isso, eles separaram lotes de um kg de trigo em frascos cilíndricos e tratados com terra de diatomácea nas seguintes quatro concentrações, a 0,05, 0,1, 0,2 ou 0,5 g DE/kg de trigo. Esses frascos foram agitados manualmente por 5 min para obter uma distribuição igual das partículas de terra de diatomácea em toda a massa de grão*S.* De cada lote foram retiradas três amostras, de 20 g cada, e colocadas em pequenos frascos cilíndricos de vidro. Uma série de frascos contendo trigo não tratado serviu como controle. Nesses frascos contendo trigo e terra de diatomácea foram colocados 20 adultos de *S. oryzae* e todos os frascos foram colocados em incubadoras ajustadas na combinação desejada de temperatura e r.h. As temperaturas testadas foram 20, 25 e 30°C e os níveis testados de r.h. foram 55 e 75% durante todo o período experimental, totalizando assim seis combinações de temperaturas × r.h.. A contagem dos indivíduos mortos foi feita 7, 14 e 21 dias após a infestação. Após os 21 dias todos os adultos foram removidos proporcionando posteriormente a contagem dos números da progênie. Como resultado Athanassiou, Kavallieratos e Lazzari (2014) obtiveram que, para os níveis de mortalidade, todos os principais efeitos e interações foram significativos, com exceção de uma. Após 7 dias de exposição, a mortalidade aumentou com o aumento da temperatura e diminuiu com o aumento da r.h. na maioria das combinações testada*S.* Na dose mais alta, a mortalidade a 25 e 30 °C foi >96%, em todos os caso*S.* Além disso, a mortalidade não diferiu significativamente a 30°C e 55% r.h. em trigo tratado com 200 ou 500 ppm. No intervalo de exposição de 14 dias, a mortalidade aumentou ainda mais. O aumento da temperatura e r.h. resultaram em tendências de mortalidade semelhantes aos 7 dias de exposição. Na dose mais alta, a mortalidade atingiu 100 e 99,4% em 55 e 75% r.h. respectivamente. Ao mesmo tempo, a 25 ou 30 °C e 55% r.h., a mortalidade de adultos de *S. oryzae* ultrapassou 99% em trigo tratado com 200 ppm de DE. Finalmente, após 21 dias de exposição, a mortalidade aumentou ainda mais. O aumento da temperatura e r.h. resultaram em tendências de mortalidade semelhantes aos 7 e 14 dias de exposição. A 55% r.h. a mortalidade foi >98%, mesmo a 50 ppm enquanto que a 75% r.h. a mortalidade foi >92%

em doses ≥100 ppm. Em relação à produção de progênies de *S. oryzae*, todos os principais efeitos e interações foram significativo*S.* A progênie foi completamente suprimida a 20°C e 55% r.h. e 50, 200 ou 500 ppm, mas a produção de progênie foi muito baixa nos frascos de controle. A 30°C e 55% r.h. a presença de DE reduziu significativamente a produção de progênie em comparação com o trigo não tratado, mesmo a 50 ppm. Em contraste, a 30°C e 75% r.h., a produção de progênie foi significativamente reduzida em comparação com os frascos de controle, apenas a 200 e 500 ppm. Com exceção de 20 °C e 55% r.h., a produção geral da progênie foi relativamente baixa apenas no caso do trigo tratado com 500 ppm, variando entre 2,2 e 8,0 adultos/frasco, enquanto a 200 ppm, a emergência de adultos variou entre 17,3 e 63,4 adultos/frasco. Diante dos resultados, os autores concluíram que os testes mostraram que Keepdry® é eficaz em doses inferiores a outras terras de diatomáceas disponíveis comercialmente, para o controle de duas pragas primárias de grãos, R. dominica e *S. oryzae*. E que essa eficácia foi afetada pela temperatura e, em certa medida, pela r.h., o que indicando assim que esses fatores abióticos devem ser seriamente levados em consideração quando um protocolo de controle baseado em terra de diatomácea é projetado.

Martin *et al*. (2015) compararam sacos PICS com sacos convencionais de polipropileno tecido no controle de *S. oryzae* em trigo armazenado. Para isso, o trigo de inverno vermelho macio não tratado (livre de pesticidas) foi distribuído em sacos triplos PICS preenchidos com 25,8 ± 0,1 kg de grãos e infestados com 1 litro de trigo fortemente infestado com *S. oryzae*, em sacos triplos PICS preenchidos com 25,8 ± 0,1 kg de grãos sem estar infestados e em sacos de polipropileno tecido (um saco PICS tecido externo sem os forros internos de HDPE) preenchidos com 25,8 ± 0,1 kg de grãos e infestados com 1 litro de grãos fortemente infestados com gorgulho do arroz. Cada condição de tratamento foi replicada quatro vezes, totalizando assim 12 sacos mantidos em temperatura ambiente variada entre 22 e 30 °C e a umidade relativa entre 50 e 95%. Os sacos foram verificados quanto a vazamentos A avaliação dos danos aos grãos foi feita inicialmente, foram inspecionados após 3 meses e ao final do período de armazenamento de 6 meses e passaram por teste de porcentagem relativa de danos físicos às sementes, teor de umidade do grão, porcentagem de germinação, presença e concentração de aflatoxina; concentrações de oxigênio e dióxido de carbono durante o armazenamento temperatura e humidade relativa do headspace durante o armazenamento. Durante a amostragem, os sacos PICS não infestados foram removidos da sala para diminuir o risco de infestação acidenta. Os autores concluíram que o trigo armazenado em sacos PICS é bem protegido contra danos causados por insetos em comparação com o trigo armazenado em sacos convencionais de polipropileno tecido são mais protegidos contra perdas de germinação em comparação com os sacos convencionais, nenhuma aflatoxina foi detectada. Os autores explicam que isso é consequência das paredes do saco PICS que atuam como uma barreira que retarda severamente a difusão do gás e ajuda a manter a temperatura, umidade e teor de umidade da semente, apesar das flutuações nas condições ambientais.

4.3. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTROLE DE CARUNCHO EM TRIGO

Diante das variedades de métodos encontradas é importante destacar também a variedade das metodologias utilizadas em cada trabalho, mesmo para aqueles que testavam o mesmo método, como no caso de Derbalah e Ahmed (2011) e Hamed *et al.* (2012), em que ambos testaram óleos de plantas, sendo plantas diferentes e com metodologias de testagem diferentes, comprometendo assim a comparação exata dos resultados. Outro ponto que pode ser destacado aqui é a testagem dos efeitos negativos

dos tratamentos sobre a fisiologia das sementes de trigo, que o presente estudo destaca como de extrema importância, já que os tratamentos visam sempre o objetivo de maior produção.

No entanto, apenas os estudos de Derbalah e Ahmed, (2011); Ferreira (2012) e Martin *et al.* (2015) dedicaram em sua metodologia testes para verificar impactos como perda de peso das sementes, alterações na germinação, aumento da velocidade do envelhecimento das sementes e concentrações de oxigênio e dióxido de carbono durante o armazenamento temperatura etc. Desses, apenas o estudo de Derbalah e Ahmed (2011) constatou prejuízo para fisiologia dos grãos diante de todos os tratamentos, e ainda mais no tratamento com óleo de hortelã, que foi o mesmo óleo que apresentou melhores resultados quanto à mortalidade e progênie dos carunchos. Para Ferreira (2012) a perda de vigor das sementes aconteceu por consequência do tempo, pois as sementes submetidas ao controle também apresentaram perda de vigor. Já para Martin *et al.* (2015), o tratamento com sacos PICS, pelo contrário, apresentaram melhores resultados quando compradas aos sacos convencionai*S.* Nos estudos de Hamed *et al.* (2012), Akter Majuri e Akter Salma (2016), Goergen (2017), Bonjour *et al.* (2011), Saad e Abdelgaleil (2018), Athanassious Kavallieratos e Lazzari (2014) não é possível fazer essa comparação entre concentração relacionada à eficiência do controle do caruncho e da fisiologia das sementes pois eles não se dedicaram à execução de teste fisiológicos nas sementes.

Ao que se trata de tratamentos oriundos de vegetais, foi encontrado a testagem de óleos de aipo, cânfora, alho e menta, de pós de folha de mehogoni, da folha de neem, da folha de calêndula, do alho, da folha de bel e de menta, e de extratos de aroeira-vermelha, e, como citado anteriormente, desses, apenas Derbalah e Ahmed (2011), que testaram o óleo essencial e o pó de Mentha viridis, verificaram os impactos dos tratamentos na fisiologia dos grãos

Nos estudos que testavam diversas concentrações dos tratamentos escolhidos, foi possível identificar que as variações de concentrações sempre apresentaram alterações consideráveis nos resultados, em especial, concentrações mais altas indicavam melhores resultados quanto ao controle do caruncho. Já o estudo de Thanassiou, Kavallieratos e Lazzari (2014), que utilizaram terra de diatomácea, apresentou a eficácia variando positivamente com o aumento da temperatura. Saad e Abdelgaleil (2018) encontraram relação entre a eficácia e o tempo de exposição, quanto mais tempo submetidas aos tratamentos e em concentrações mais altas, melhores eram os resultados em relação à mortalidade e progênie dos carunchos. Em relação à questão das altas concentrações serem mais eficientes que as mais baixas, Goergen (2017) destaca que nem sempre o foco das pesquisas devem ser a mortalidade, pois essas, por vezes, dependem de altas concentrações das substâncias às quais estão sendo expostas, e isso pode tornar inviável os tratamentos por afetar, por exemplo, a qualidade fisiológica das sementes e também pela necessidade de grandes volumes de matéria prima, tornando assim mais caro. Para isso, ele sugere que concentrações mais baixas que afetem a progênie já demonstram eficiência quanto ao controle das espécies de caruncho.

Além disso, no que tange a diversidade de estudos, a maioria dos estudos encontrados focou na espécie *Sitophilus oryzae*, apenas o estudo de Goergen (2017) não distingue qual espécie de *Sitophilus* foi avaliada. Ficando de fora estudos com espécies como *Sitophilus* zeamais e *Sitophilus granarius*.

Por fim, apesar de ter sido encontrado uma variedade de 10 métodos de testagem, considera-se que, quando comparado com outras sementes, como de feijão, existe menos

olhares voltados a essas pesquisas com foco no gorgulho em trigo. Além disso, esperava-se encontrar mais estudos realizados no Brasil, já que, como revisado anteriormente, o Brasil possui demanda de produção de trigo, esse é um dos fatores que comprometem a produção, e já existem mais pesquisas que utilizam óleos, extratos e pós de planta da diversa flora nativa do Brasil para o controle de pragas em outras sementes. Como, por exemplo, um estudo realizado por Oliveira (1998), que analisou a eficácia de extratos de Croton, Laranja e Pimenta do Reino no controle da praga *Sitophilus spp*. em grãos de milho armazenados.

5. CONCLUSÃO

Foi possível descrever 10 métodos de controle para caruncho em trigo armazenado, sendo esses: óleos vegetais, pós de plantas, extrato de planta, inseticida, ozônio, monoterpenos, gás fosfina, terra de diatomácea e sacos PICS.

Após discutir os tratamentos o presente trabaho aponta que nem todos os estudos revisados possuem metodologia robusta suficiente para avaliação dos impactos dos tratamentos na fisiologia das sementes.

A partir da comparação dos tratamentos identificados na literatura para controle de caruncho em trigo armazenado, constatou-se que todos foram relevantes no que tange o controle de *Sitophilus oryzae*, mas que faltam mais estudos que foquem em outras 0espécies de *Sitophilus.*

Por fim, indica-se a necessidade de mais pesquisas com foco nos métodos de controle do gorgulho no trigo, em especial com tratamentos oriundos de vegetais, aproveitando espécies endêmicas, ou nativas que possuam propriedades testadas já em outros estudos com foco em outras espécies de insetos e grãos, além de novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

[1] ABDELGALEIL, S.A.; GAD, H.A.; AL-ANANY, M.S.; ATTA, A.A. Monoterpenes improve the insecticidal efficacy of spinosad against *Sitophilus oryzae* (L.) on stored wheat. **International Journal of Pest Management**, p. 1-11, 2021.

[2] ABITRIGO. **Associação Brasileira da Indústria do Trigo**. Disponível em: https://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/ Acesso em 15/01/2025.

[3] AKTER, M.; AKTER, S.O. Effect of botanicals against *Sitophilus oryzae* on wheat grain in the laboratory. **European International Journal of Science and Technology**, v. 5, n. 7, p. 51-57, 2016.

[4] ANTUNES, C.I.F. - **Susceptibilidade de variedades de arroz ao ataque de *Sitophilus zeamais Motschulsky* (*Coleoptera, Curculionidae*)**. 2010, 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronómica - Instituto Superior de Agronomia). Universidade de Lisboa - ISA, Lisboa, 2010.

[5] ATHANASSIOU, C.G.; KAVALLIERATOS, N.G.; LAZZARI, F.A. Insecticidal effect of Keepdry® for the control of *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) and Rhyzopertha dominica (F.)(Coleoptera: Bostrychidae) on wheat under laboratory conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 133-139, 2014.

[6] BOCHAROVA, N. **Infestação por gorgulho num estabelecimento armazenista de géneros alimentícios**. 2020, 63 p. Dissertação (Mestrado em Segurança Alimentar, Faculdade de Medicina Veterinária). Universidade de Lisboa - ISA, Lisboa, 2020.

[7] BOIÇA JÚNIOR, A.L.; LARA, F.M.; GUIDI, F.P. Resistência de genótipos de milho ao ataque de *Sitophilus zeamais Mots* (*Coleoptera: Curculionidae*). **Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 481-485,1997.

[8] BONJOUR, E.L.; OPIT, G.P.; HARDIN, J.; JONES, C.L.; PAYTON, M.E.; BEEBY, R.L. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 104, n. 1, p. 308-316, 2011.

[9] BRANDÃO, S.S.; LIRA, H.L. **Tecnologia de Panificação e Confeitaria**. 1ª edição, Recife: EDUFRP, 2011. 148 p.

[10] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº 29, de 8 de junho de 2011. Aprova os requisitos técnicos obrigatórios e recomendados para certificação de unidades armazenadoras**. Diário Oficial da República Federativa do BRASIL, Brasília, 8 de junho, nº 15, Seção 1, p. 12-32. 2011.

[11] CAMPOS, T. B. A importância do instituto biológico no desenvolvimento dos estudos sobre pragas de grãos e produtos armazenados. **Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 2, p. 85-86, jul./dez., 2008.

[12] CARDOSO, J. R. **Manejo integrado de pragas em grãos armazenados**. 2009. 33 p. Monografia (Especialização em Tecnologias Inovadoras no Manejo Integrado de Pragas e Doenças de Plantas) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2009.

[13] CARNEIRO, L.M.T.A.; BIAGI, J.D.; FREITAS, J.G.; CARNEIRO, M.C.; FELÍCIO, J.C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.

[14] DERBALAH, A.S.; AHMED, S.I. Oil and powder of spearmint as an alternative to *Sitophilus oryzae* chemical control of wheat grains. **Journal of Plant Protection Research**, v. 51, n. 2, p. 145-150, 2011.

[15] FAO. Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas. **Pão de Trigo: Melhoria e Produção**, 2002. Disponível em:

[16] https://www.fao.org/3/y4011e/y4011e00.htm#Contents Acesso em 20/01/2025.

[17] FERREIRA, E.G. **Estudo para estabelecer os parâmetros de relação entre o teor de sais minerais e a colorimetria na farinha de trigo**. 2019, 62 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

[18] FERREIRA, R.A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nut. Brasil**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 45 – 52, 2003.

[19] FERREIRA, C.C. **Tratamento inseticida para controle de pragas do armazenamento e a qualidade fisiológica de sementes de trigo**. 2012, 33 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 2012.

[20] FONTES, L.S.; ALMEIDA FILHO, A.J.; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) e *Sitophilus* zeamais *Motschulsky*, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz (Oryza sativa L.). **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, p. 303-307, 2003.

[21] GOERGEN, P.C.H. **Extratos de *Schinus terebinthifolius* no controle de *Sitophilus granarius* L. em grãos de trigo armazenado**. 2016, 39 p.Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agronômica) Departamento de Estudos Agrários – DEAg, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ; 2016.

[22] GUTKOSKI, L.C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.A.; SILVA, A.C.T.; ELIAS, M.C. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28(4), p. 888-894, 2008.

[23] HAGSTRUM, D.W.; FLINN, P.W.; SHUMAN, D. Automated monitoring using acoustical sensors for insects in farm-stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, v. 89, n. 1, p. 211-217, 1996.

[24] HAMED, R.K.A; AHMED, S.M.S.; ABOTALEB, A.O.B.; ELSAWAF, B.M.. Efficacy of certain plant oils as grain protectants against the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (*Coleoptera: Curculionidae*) on wheat. **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences (A. Entomology)**, v. 5, n. 2, p. 49-53, 2012.

[25] HEMERY, Y.; ROUAU, X.; LULLIEN, V.; BARRON, C.; ABÉCASSIS, J.. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 327-347, 2007.

[26] HONG, K.J., LEE, P.Y.J., YANG, J.O. First confirmation of the distribution of rice weevil, *Sitophilus*

oryzae, in South Korea. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**. n.11, v. 1, p. 69-75, 2018.

[27] JOB, R.B.; BEVILAQUA, G.A.P.; OLANDA, G.B.; PINHEIRO, R.A.; MULLER, P.C. **Recobrimento de sementes de feijão-miúdo com agrominerais no controle de *Sitophilus* sp.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), Pelotas/RS: Embrapa Clima Temperado, 2020. 10 p.

[28] KUMAR, H.; VIJAY, V.K.; SUBBARAO, P.M.V.; CHANDRA, R. Studies on the application of bio-carbon dioxide as controlled atmosphere on pest management in wheat grain storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 95, n. 101911, 2022. 9 p.

[29] LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 72 p.

[30] LORINI, I.; SCHNEIDER, S. **Pragas de grãos armazenados: resultados de pesquisa**.Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. 47p.

[31] LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING,A.A.; HENNING, F.A. **Manejo Integrado de Pragas de Grãos e Sementes Armazenadas**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 81 p.

[32] MANFRON, P.A.; LAZZAROTTO, C.; MEDEIROS, S.L.P. TRIGO - Aspectos agrometeorológicos. **Ciência Rural**, v. 23, p. 233-239, 1993.

[33] MARTIN, D.T.; BARIBUTSA, J.E.; WILLIAMS, S.B.; MURDOK, L.L. PICS bags protect wheat grain, *Triticum aestivum* (L.), against rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 63, p. 22-30, 2015.

[34] OLIVEIRA, M.M. **Análise da eficácia de extratos vegetais no controle da praga Sitophilus spp. em grãos armazenados**. 1998, 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 1998.

[35] ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013, 195 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos - Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

[36] PATACO, I.M.M. **Biofortificação de trigo duro (*Triticum durum*) em ferro, e seriação de parâmetros de qualidade para fabrico industrial de massas alimentícias**. 2016, 202 p. Tese (Doutrado em qualidade Alimentar). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Portugal, 2016.

[37] POMERANZ, Y. Chemical composition of kernel structures. **Wheat: chemistry and technology**, v. I., n. 3, p. 97-158, 1988.

[38] REIS, E.M.; FERNANDES, J.M.C.; PICININI, E.C. **Estratégias para o controle de doenças do trigo.** Série Documentos (CNPT), Centro Nacional de Pesquisa de Trigo- CNPT, Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária- EMBRAPA, Passo Fundo/RS: EMBRAPA-CNPT, 1988. 52 p.

[39] REGINATO; M.P.; ENSINAS; S.C.; RIZZATO, M.C.O.; SANTOS, M.K.K.; PRADO, E.A. Boas práticas de armazenagem de grãos. **In**: **VIII Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão (ENEPEX),** Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Dourados/MS. 2014. p. 1-19.

[40] SAAD, M.M.G.; ABDELGALEIL, S.A.M. Effectiveness of monoterpenes and phenylpropenes on *Sitophilus oryzae* L.(Coleoptera: Curculionidae) in stored wheat. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 4, p. 1153-1158, 2018.

[41] SANTOS, A.K.; FARONI, L.R. D.; GUEDES, R.N.C.; DOS SANTOS, J.P.; ROZAZDO, A.F. Nível de dano econômico de *Sitophilus* zeamais (M.) em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 273-279, 2002.

[42] SARWAR M.H.; SARWAR, M.F.; SARWAR, M.; QADRI, N.A.; MOGHAL, S. The importance of cereals (Poacae: Gramineae) nutrition in human health: A review. **Journal of Cereals and Oilseeds**. v. 4, n. 3, p. 32-35, 2013.

[43] SCHEEREN, P.L.; CASTRO, R.L.; CAIERAO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, p. 35-55, 2015.

[44] SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; LIMBERGER, V.M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

[45] SILVA, A.A.L. **Crescimento populacional, perdas qualiquantitativas e níveis de danos econômicos para o manejo integrado de Rhyzopertha dominica e Sitophilus zeamais em trigo armazenado**. 2001. 92 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

[46] SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.A; FARONI, A; PEREIRA, M.D.; PAULO, J.; ALMEIDA, M.; SILVA, G.N. Atividade inseticida de genótipos de pinhão manso para insetos-praga de produtos armazenados*.* **In**: **I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso**. Brasília-DF. 2009. p. 1-4.

[47] SOUZA, M.T., SILVA, M.D., CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Journal Einstein** (São Paulo) [Internet]. 2010. Mar;8(1):102–6.

[48] TOMASINE, R.G.A; AMBROSI, I. **Aspectos Econômicos da Cultura de Trigo**. 1998 Disponível em: https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8938/5056. Acesso em 12/01/2025.

[49] TACHIZAWA, T.; MENDES, G. **Como fazer monografia na prática**. Editora FGV, 2015.

[50] ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.; SARMENTO, S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, março, p. 46-55, 2009.

Capítulo 9

Construção modular e sua influência na expressão e funcionalidade da arquitetura contemporânea

Talita Ribeiro Rebello
Ariane Prevedello Rubin

Resumo: Devido à crescente urbanização das cidades, a pré-fabricação e a industrialização surgem como uma solução de criar e entregar produtos e serviços de forma ágil e com custo reduzido. A construção modular é um sistema construtivo pré-fabricado, em que apenas se exigem conexões entre si, sendo categorizada em construção em módulos, painéis modulares ou containers. Ela se caracteriza por ser um processo sustentável com rápida execução, que gera menos resíduos e com materiais de maior controle e qualidade. Existem diversos desafios, práticas e inovações relacionadas a este método construtivo, e este estudo tratará sobre o seu desenvolvimento. A metodologia utilizada foi o método SSF (*Systematic Search Flow*) que tem como objetivo explorar sobre diversos aspectos da construção modular, como a influência e funcionalidade na arquitetura contemporânea. Além de realizar uma revisão de mercado e revisão técnica, através de pesquisa exploratória e estudos de casos, respetivamente, a fim de produzir um levantamento em relação aos materiais e subsistemas (sistemas de vedação, instalações, cobertura etc.) que estão sendo utilizados na área. O estudo apontou o crescimento científico com relação ao assunto em âmbito internacional, porém ainda carece de estudos de casos brasileiros sobre a construção modular. No âmbito empresarial, por sua vez, encontram-se diversos projetos bem-sucedidos tanto no Brasil quanto no contexto internacional, diferenciando-se na amplitude e valorização da construção modular no exterior, sendo mais evoluído em termos de possibilidades construtivas e arquitetônicas.

Palavras-chave: Arquitetura modular, Construção civil, Industrialização, Construção modular.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção civil é dependente de soluções construtivas artesanais com baixa produtividade, na qual a introdução de métodos construtivos industrializados cria o potencial de alterar o estado atual da construção, que tem previsão de crescimento em 2024 em 1,3% em comparação à 2023 (Noberto, 2023). Hoje em dia, os processos são realizados, em sua maioria, no contexto *on-site*, ou seja, todo o processo construtivo é executado dentro do canteiro de obras, levando ao desperdício excessivo de materiais (Carvalho, 2020). Além disso, é um sistema convencional que se baseia em componentes não modulares (Artico, 2020), limitando a melhoria de perspectivas sobre a forma de conceber e construir espaços habitáveis (Horta, 2020).

A construção modular é uma maneira diferente de edificar, composta por módulos ou painéis pré-fabricados que são transportados e montados *in-loco*. A relevância do estudo sobre sua importância na arquitetura se situa na capacidade de criar soluções para desafios contemporâneos, como a redução do impacto ao meio ambiente, conseguir um controle maior com relação a qualidade de construção e encontrar maneiras de construir habitações rápidas e econômicas (Carvalho, 2020). Ademais, possui a possiblidade de reutilização ou adaptação dos módulos para diferentes usos (Horta, 2020).

Sendo assim, a construção modular está emergindo como uma abordagem de estudo eficiente na arquitetura contemporânea, por ser uma alternativa ao método tradicional de construção, se caracterizando pela flexibilidade, custo e sustentabilidade (Teribele, 2016). Apesar de promissora, há barreiras para o seu uso, principalmente na arquitetura, como a falta mão de obra especializada, sendo necessários diversos investimentos. Percebe-se uma dificuldade de personalização dos edifícios (Chen *et al*., 2021), além da tentativa de entender o porquê há uma resistência à adoção generalizada e a integração deste sistema em objetos arquitetônicos, até mesmo advinda dos arquitetos (Horta, 2020).

Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre aspectos da construção modular utilizando o método SSF (*Systematic Search Flow*) (Ferenhof, 2016), além de uma revisão de mercado e uma revisão técnica por meio de estudos de caso, a fim de entender quais são as tendências e desenvolvimentos na construção modular e compreender os principais desafios, práticas e inovações que vêm moldando a evolução deste sistema construtivo. Além de identificar e analisar o que está sendo feito no Brasil e no mundo, bem como entender o estado atual das pesquisas, as práticas associadas na construção, as áreas de aplicação, os materiais mais utilizados e a interação da construção modular com os seus subsistemas (fundações, instalações, pisos, coberturas etc.). Com isso, será possível compreender como a modularização da construção pode e está influenciando a arquitetura contemporânea, sua funcionalidade e as barreiras na sua implementação.

2. CONSTRUÇÃO MODULAR

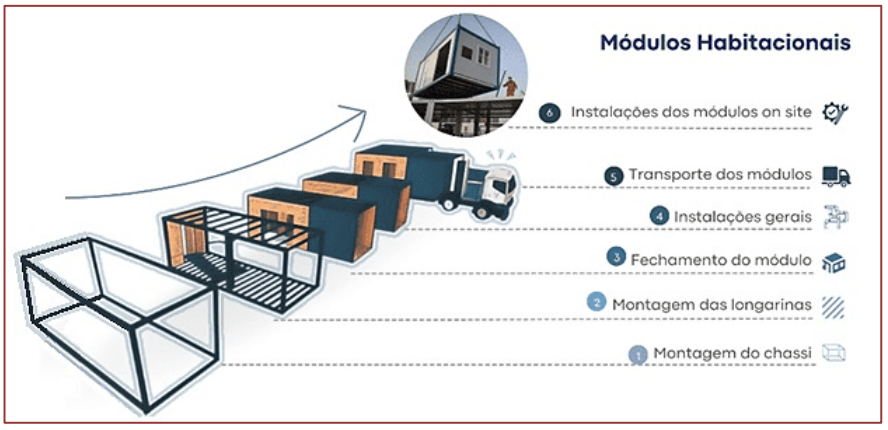
A construção modular é um sistema construtivo que se baseia na produção industrial *off-site*, ou seja, fora do canteiro de obras, que vem se estabelecendo nos últimos 20 anos. É um método onde a estrutura ou as partes de um edifício, que podem ser módulos, painéis individuais ou containers, são transportados para o local da obra prontos para serem montados ou encaixados (Oliveira, 2024). Resultado de um processo de manufatura fora do local de implantação, a pré-fabricação antecipa o maior número de operações que serão realizadas *in loco* ou *on-site*, tornando a atividade de montagem em um método

organizado, com mão de obra especializada e funções pré-determinadas dentro do canteiro de obras (Horta, 2020).

Para criar uma proposta de construção modular, necessita-se que o projeto arquitetônico seja adaptado, considerando as necessidades e limitações de cada fabricante. Após a adequação do projeto, a estrutura ou as partes são produzidas em fábrica, podendo ser instalados acabamentos, sistemas elétricos, hidráulicos e de climatização. Durante o processo de montagem, a edificação é instalada acima da fundação preparada anteriormente e são feitos os ajustes finais, para que o edifício seja testado e esteja pronto para ser utilizado (Ribeiro, 2024).

Um exemplo notável é o processo desenvolvido pela empresa brasileira NFI Modular (Figura 1), especializada em módulos pré-fabricados. Após a criação do projeto, a montagem do módulo é iniciada. O primeiro passo é a estrutura (*chassi*), prosseguindo para a montagem das longarinas e o fechamento do módulo. Com a base concluída, são realizadas as instalações gerais, tornando o módulo pronto para transporte até o canteiro de obras, onde será integrado à construção final.

Figura 1 – Passo a passo da construção *off-site* em módulos



Fonte: NFI Modular (modificado pelo autor).

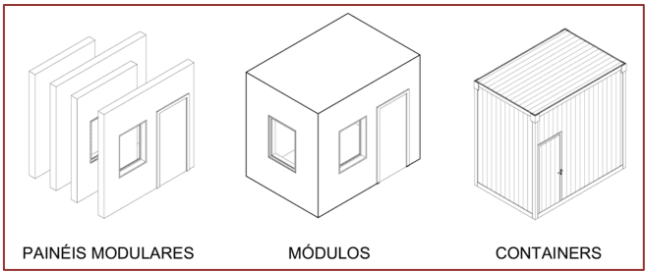
A construção off-site pode se aplicar nos setores residencial, com casas compactas, lofts e condomínios; área da saúde, permitindo a entrega de hospitais e clínicas; comércio, oferecendo soluções para lojas, hotéis e escritórios; setor institucional, construindo escolas, edifícios públicos e centros comunitários (Teribele, 2016).

O desenvolvimento sequencial de uma construção modular depende de diversos elos da cadeia produtiva, como os fabricantes, provedores de logística e montadores. O transporte e logística na construção modular são as etapas que possuem maior risco de interrupção ou dano nos processos de produção, por ser o momento em que toda a construção pré-fabricada é transportada para o canteiro de obras. Todo o processo necessita de cuidado e diversas prevenções, como a conferência de restrições de transporte, limitações de armazenamento e quanto aos locais de montagem congestionados (Serra, 2024).

O método de construção modular apresenta diversas vantagens que, se devidamente valorizadas, têm o potencial de transformar significativamente a indústria da construção civil. São projetos vitais para o desenvolvimento e sustentabilidade do ambiente construído (Olawumi, 2022). Entre seus principais benefícios, destacam-se a redução dos prazos de execução, a melhoria na qualidade das edificações, a possibilidade de redução de custos, o planejamento intrínseco e a agilidade no processo construtivo, além de ser uma abordagem sustentável, permitindo a possibilidade de reutilização de seus componentes (Oliveira, 2024). Essas características tornam essa abordagem uma solução eficiente e inovadora para atender às demandas do setor.

A produção industrializada, predominantemente baseada na padronização de componentes, busca minimizar a variabilidade construtiva. Esse método, porém, contrasta com a cultura do projeto arquitetônico, que valoriza a singularidade de cada edifício (Artico, 2020). Dentro desse contexto, edifícios modulares se destacam por sua versatilidade, permitindo a aplicação de diferentes sistemas estruturais e materiais (Lacey, 2017). Além disso, há a possibilidade de adaptação dos módulos com o objetivo de atender a um projeto específico, permitindo flexibilidade arquitetônica (Oliveira, 2024). Por conta disso, a construção modular pode ser produzida e classificada em três categorias principais: painéis modulares, módulos completos e containers (Figura 2).

Figura 2 – Esquema de representação das tipologias de construção modular



2.1. PAINÉIS MODULARES

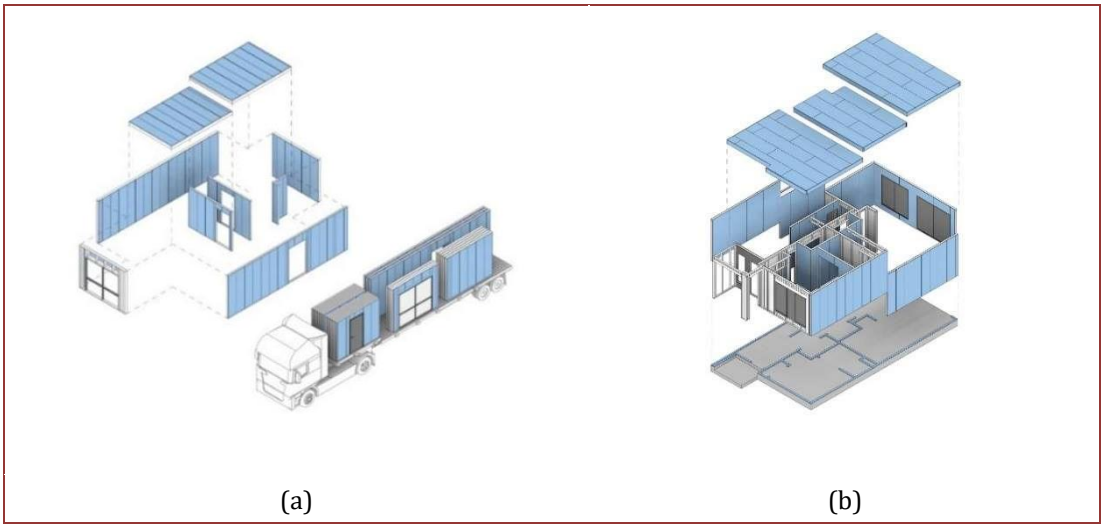
Entre as diferentes abordagens da construção modular, a utilização de painéis modulares tem se destacado por sua flexibilidade e vantagens construtivas. Os painéis modulares são componentes pré-fabricados planos, que podem ser feitos de materiais como concreto, madeira ou aço, projetados para serem encaixados no local da obra. Esses painéis são produzidos em ambiente controlado (Figura 3) e transportados até o local de instalação, onde são unidos para formar paredes, pisos ou até mesmo a estrutura completa de uma residência (Teixeira, 2021).

Figura 3 – Fábrica de painéis modulares

Fonte: Modscape (2025).

A principal característica que diferencia essa tipologia das outras é a montagem da estrutura *in loco*. Os painéis são levados desmontados para o canteiro (Figura 4 -a) e, após chegarem ao canteiro de obras, precisam ser fixados para poder compor a edificação final (Figura 4 -b). Neste sistema, as instalações gerais são adicionadas após a finalização da estrutura principal proporcionando maior liberdade no projeto arquitetônico e facilita ajustes personalizados (Silva, 2023).

Figura 4 – Esquema básico de logística de montagem dos painéis modulares: a) painéis chegam desmontados; b) painéis são encaixados



(a) (b)

Fonte: Modscape (s. d.).

Entre as diversas vantagens dessa tipologia, a versatilidade arquitetônica é a que mais se destaca. Diferentemente dos módulos, os painéis podem se adequar a várias necessidades arquitetônicas, possuindo uma flexibilidade de construção maior (Teixeira, 2021). Entretanto, o investimento inicial para aquisição de painéis e equipamentos de montagem pode ser mais alto em comparação à construção tradicional, além do custo do transporte, que pode ser complexo e caro, especialmente em regiões remotas ou de difícil acesso (Filho, 2021).

Os painéis modulares podem ter diferentes dimensões, pois são pré-fabricados com base no projeto arquitetônico. No entanto, seu tamanho é limitado pela logística de transporte, especialmente pelas restrições impostas pelas dimensões dos caminhões. Além disso, esses painéis podem ser personalizados conforme as especificações do projeto, permitindo variações no revestimento e no isolamento, seja por escolha do cliente ou conforme a especialização da empresa.

Por fim, os painéis são içados para o caminhão (Figura 5) e ao chegarem ao canteiro de obras, são posicionados com o auxílio de guinchos e direcionados pela equipe de montagem para o local exato de instalação.

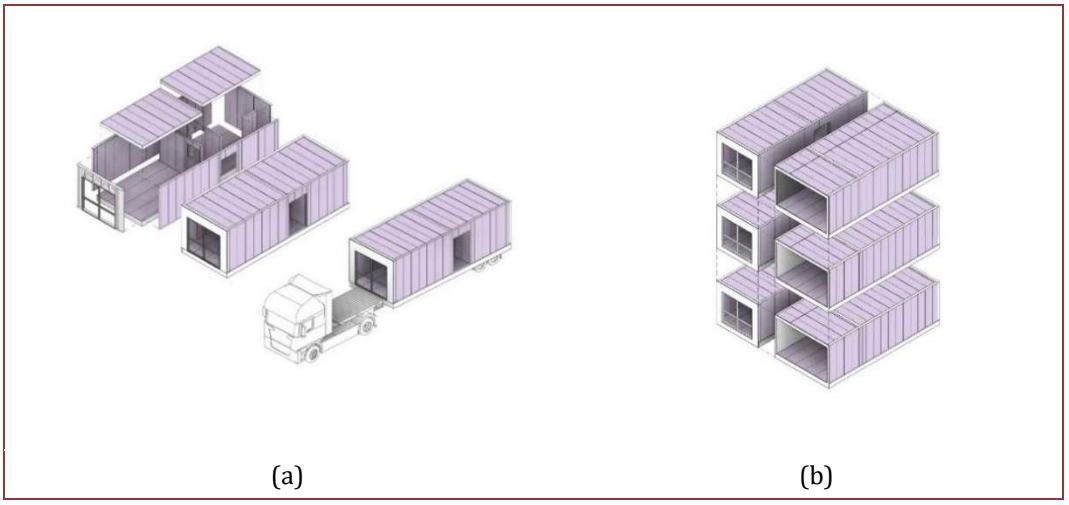
Figura 5 – Painel modular sendo içado em fábrica

fonte: modscape, 2025.

2.2. MÓDULOS

A construção em módulos pré-fabricados é um sistema onde componentes completos, como stands comerciais, banheiros, quartos e até edifícios inteiros, são montados ainda em fábrica com um alto padrão de acabamento, e posteriormente transportados já prontos para o canteiro de obras (Figura 6 - Esquema básico de logística dos módulos: a) módulos sendo transportados até o canteiro; b) módulos sendo encaixados (Figura 6-a), onde são compostas e organizadas para formas a edificação, de maneira rápida e precisa (Figura 6-b) (Modularis, 2024).

Figura 6 - Esquema básico de logística dos módulos: a) módulos sendo transportados até o canteiro; b) módulos sendo encaixados



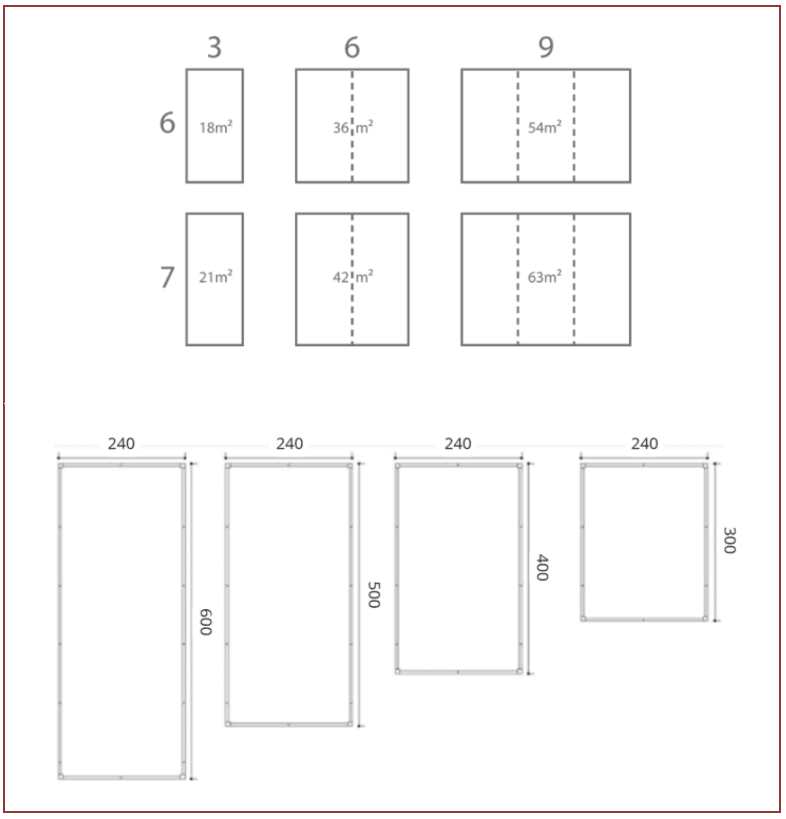
Fonte: Modscape (s. d.).

Essa abordagem oferece diversas vantagens como a redução de desperdícios no canteiro de obras, por conta que os módulos chegam prontos (estrutura-chassi, piso, parede e teto montados), além do cumprimento rigoroso de cronogramas, sendo o método de construção em módulos mais rápido em comparação aos outros. É a produção em série que permite maior rapidez, controle de qualidade e avaliação eficiente da produtividade (Almeida, 2015).

Por outro lado, as desvantagens incluem altos investimentos iniciais e necessidade de mão de obra especializada, necessitando treinamento, desafios para personalização de projetos e problemas logísticos, como transporte e possíveis danos aos módulos. Embora esses fatores possam aumentar os custos e os prazos, são compensados pela qualidade final do produto e pela eficiência a longo prazo (Filho, 2021).

Em comparação com outras abordagens dentro da construção modular, esse sistema se destaca pela maior rapidez na execução, já que, na maioria dos casos, os módulos chegam ao canteiro de obras com instalações elétricas, hidráulicas e acabamentos praticamente concluídos, exigindo apenas a montagem e a conexão entre as unidades (Filho, 2021). No entanto, os módulos costumam seguir padrões modulares de tamanho e formato pré-definidos (Figura 7-a, b), o que pode restringir a flexibilidade no design arquitetônico (Almeida, 2015).

Figura 7 – Exemplos de dimensões dos módulos: a) módulos com largura padrão de 3m; b) módulos com largura padrão de 2,40m



Fonte: (a) DBN Sistemas Construtivos (s. d.); (b) Modularis Offsite Building, 2024.

2.3. CONTAINERS

O uso de containers na construção modular tem ganhado destaque significativo ao longo dos anos. Os containers são módulos navais feitos em aço e alumínio e, devido ao formato e material resistente, foram inicialmente pensados para o transporte marítimo de cargas (Lafaete, 2024). No entanto, por conta da sua durabilidade, resistência e praticidade, essas estruturas têm sido ressignificadas, assumindo uma nova funcionalidade no setor da construção civil (Figura 8) (Mazini, 2022).

Figura 8 – Exemplo de utilização de container para uso comercial na construção civil

Fonte: Bartucci, 2020.

A utilização desse método é vantajosa por ter um baixo impacto ambiental, facilidade de mobilidade e o custo mais acessível quando comparado a outros métodos. Além disso, containers possuem vida longa, podendo ser montados e desmontados (Lafaete, 2024). Frequentemente, containers desativados, provenientes de portos, ferrovias ou outras operações logísticas, são reaproveitados, entretanto, é necessário que a estrutura passe por uma rigorosa inspeção de agentes químicos, biológicos e radioativos, além de verificar a integridade de sua estrutura. Para além desse processo, os containers se caracterizam por ser uma estrutura já montada, não necessitando de alteração em sua estrutura. Porém, o material deve passar por tratamento de recuperação e qualificação para o uso na construção civil, como o processo de limpeza, serralheria, isolamento térmico e acústico, pintura e revestimento (Meirelles, 2017).

No Brasil, os principais modelos utilizados são os de 20 e 40 pés (6,096 e 12,192 metros, respectivamente), e a NR-18 não faz grandes exigências quanto a sua utilização. Contudo, existem algumas medidas que precisam ser tomadas, como: o container precisa receber ventilação natural de no mínimo 15% da área do piso, possuir pelo menos duas aberturas; a estrutura deve ser aterrada eletricamente, para prevenção de choques elétricos; entre outros (Santos, 2017).

Embora o container seja uma opção referenciada para construir, existem ainda algumas desvantagens que o desvalorizam, como por exemplo limitações em termos de design devido às dimensões fixas e desafios relacionados ao isolamento térmico e acústico (Meirelles, 2017). Atualmente, no contexto nacional, os containers ainda são predominantemente utilizados no setor comercial, por conta do tamanho e padronização de lojas que algumas empresas desejam. Contudo, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, observa-se um crescimento notável, sugerindo um potencial promissor para a ampliação de sua aplicação em projetos residenciais (Santos, 2017).

3. METODOLOGIA

Esse trabalho utilizou como metodologias duas técnicas de pesquisa, divididas em etapas. A princípio, a metodologia de pesquisa utilizada foi o método SSF (*Systematic Search Flow*), que sistematiza e auxilia no processo de busca em bases de dados científicos (Ferenhof, 2016). O método é composto por 4 fases: 1) Protocolo de Pesquisa; 2) Análise; 3) Síntese e 4) Escrita, sendo estas subdivididas em 8 atividades.

Na fase 1, protocolo de pesquisa, se inicia a definição de regras e/ou parâmetros que serão utilizados, conforme necessidade, durante a pesquisa. Essa fase é composta por 5 atividades: a) Estratégia de busca; b) Consulta em base de dados; c) Gestão de documentos; d) Padronização e seleção dos documentos; e) Composição do portfólio de documentos.

Na atividade de estratégia de busca (a), foram definidos as palavras-chaves e os operadores lógicos que seriam inseridos no campo de busca da base de dados estabelecidas na próxima etapa (Tabela 1). Durante a atividade da consulta em base de dados (b), foram selecionadas e consultadas duas plataformas de periódicos científicos, sendo uma internacional (*Science Direct*) e outras duas nacionais (Catálogo de Teses e Dissertações – CAPES; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações - BDTD), onde foram selecionados campos específicos de cada uma das bases, com o objetivo de filtrar a quantidade de artigos encontrados e que seriam revisados posteriormente (Tabela 2 e

Tabela 3). Nesta etapa foram encontrados um total de 204 artigos científicos internacionais e 44 nacionais.

Tabela 1 – Parâmetros escolhidos na atividade de estratégia de busca

Campo selecionado	Internacional		Nacional	
	Palavras-chave e operadores lógicos	Resultados encontrados	Palavras-chave e operadores lógicos	Resultados encontrados
Title	(“*off site*”) *AND* (“*construction*”)	21	“Construção Modular”	21
Title	(“*modular*”) *AND* (“*construction*” OR “*architecture*” *OR* “*building*”)	169	“Arquitetura Modular”	23
Title	(“*modular*”) *AND* (“*integrated*”)	14	N/A	N/A

Tabela 2 - Filtros utilizados na atividade de consulta de bases de dados internacionais

Tipo de Filtro	Filtro Utilizado
Ano	2014 a 2024
Tipo de artigo	*Review articles; Research articles*
Título de publicação	*Automation in Construction; Engineering Structures; Journal of Building Engineering; Journal of Constructional Steel Research; Thin-Walled Structures; Journal of Cleaner Production; Structures; Procedia Engineering; Building and Environment; Fusion Engineering and Design*
Área de conhecimento	*Engineering*

Tabela 3 - Filtros utilizados na atividade de consulta de bases de dados nacionais

Tipo de Filtro	Filtro Utilizado
Ano	2014 a 2024
Área de Conhecimento	Arquitetura; Engenharia Civil
Assunto	Engenharia Civil

Por sua vez, na atividade de gestão de documentos (c), foi utilizado um software organizador de bibliografias e referências (*EndNote* ®), para padronizar e selecionar os artigos (d). Nesta etapa, foi realizada a leitura de títulos, resumos e palavras-chaves dos artigos, com a finalidade de filtrar e eliminar as pesquisas que não apresentavam ligação com o tema da construção modular, para compor o portfólio de documentos da próxima atividade (e). Nesta etapa, restaram um total de 177 artigos científicos internacionais e 34 nacionais.

Avançando para a segunda fase (Análise), foi utilizado o *Excel* ® para consolidação dos dados. Nesta etapa, foi feita a catalogação e separação das pesquisas em categorias (Tabela 4), para posterior elaboração dos gráficos de resultados (fase de Síntese) e escrita científica (fase de Escrita).

Tabela 4 - Categorias e subcategorias utilizadas para catalogação das pesquisas na fase de análise

Categoria	Subcategoria
Ano	2014 a 2024
Área de Aplicação	Logística; Estrutural; Sistema de Conexões; Arquitetônico; Barreiras de Implantação; Máquinas e transporte no canteiro de obras; Automação/Digitalização; Estudo de Materiais
País	Baseado no país do artigo ou dos autores
Material do módulo	Aço; Madeira Laminada; Pré-fabricado; Concreto; Indeterminado
Tipo de Artigo	Estudo de caso/Pesquisa experimental; Revisão sistemática

Após a pesquisa pelo método SSF, foi realizada uma revisão técnica composta em duas etapas. A primeira etapa consistiu em um panorama de mercado, que incluiu a catalogação manual de empresas atuantes na construção modular. Essas empresas foram classificadas de acordo com o método construtivo adotado, abrangendo painéis modulares, módulos e containers. Posteriormente, foi realizada uma análise aprofundada baseada em estudos de caso, investigando as empresas encontradas, seus projetos executados e, por fim, uma catalogação focada exclusivamente em construções modulares baseadas em módulos, pois foi o tipo construtivo com a maior quantidade de empresas e projetos encontrados na primeira parte desta pesquisa.

Para a pesquisa de mercado, utilizou-se o mecanismo de busca *Google* ® para localizar empresas nacionais e internacionais no setor de construção modular (Tabela 5).

Tabela 5 – Palavras-chaves utilizadas para a pesquisa na fase de panorama de mercado

Âmbito	Palavras-chaves inseridas no campo de pesquisa
Nacional	"empresas nacionais de construção modular"; "construção modular no Brasil"; "empresas de painéis modulares"; "construção em container"; "construção em módulos"; "empresas construção modular"
Internacional	"empresas internacionais de construção modular"; "*modular construction companies*"; "*modular construction*"; "*modular company*"; "*modular building*"

As empresas identificadas foram registradas manualmente em uma planilha no software *Excel* ®, seguindo as categorias estabelecidas na Tabela 6.

Tabela 6 – Categorias e subcategorias utilizadas para catalogação das empresas encontradas

Categoria	Subcategoria
País	Brasil ou outro
Tipologia	Misto; Comercial; Residencial; Institucional; Eventos; Prédios; Presidial
Modelo construtivo	Módulos; Painéis Modulares; Containers; Painéis e Módulos
Material utilizado	Misto; Aço; Madeira; Concreto; PVC; Não identificado
Projeto principal	Levantamento do portfólio de cada empresa

Além disso, foram conduzidas buscas no site "*ArchDaily*" como base de dados, utilizando os termos "construção modular"; "modular" e "*modular construction"*. Os projetos identificados foram analisados, em conjunto com as empresas responsáveis por sua construção. Para refinar os dados, apenas as empresas que trabalhavam exclusivamente com construção modular foram mantidas na catalogação final, excluindo as que trabalhavam com outros modelos construtivos. A partir dessas informações, os dados foram organizados e processados em gráficos, para consolidação dos dados para posterior análise.

Por fim, com base nos projetos principais e em outros empreendimentos das empresas catalogadas, foram catalogados os projetos que se destacavam com base nas subcategorias: "Projeto arquitetônico (tipologia, geometria e configuração espacial)"; "Sistemas de fundação"; "Sistemas de estrutura e/ou vedação"; "Sistemas de revestimentos e acabamentos (internos e externos)"; "Sistemas de instalações (elétricas e hidráulicas)" e "Sistemas de cobertura (captação de água)", a fim de analisar as diferentes possibilidades construtivas sendo utilizadas atualmente.

Esse processo metodológico permitiu consolidar um panorama do mercado de construção modular, bem como aprofundar a análise das soluções empregadas nos projetos arquitetônicos executados pelas empresas especializadas no setor.

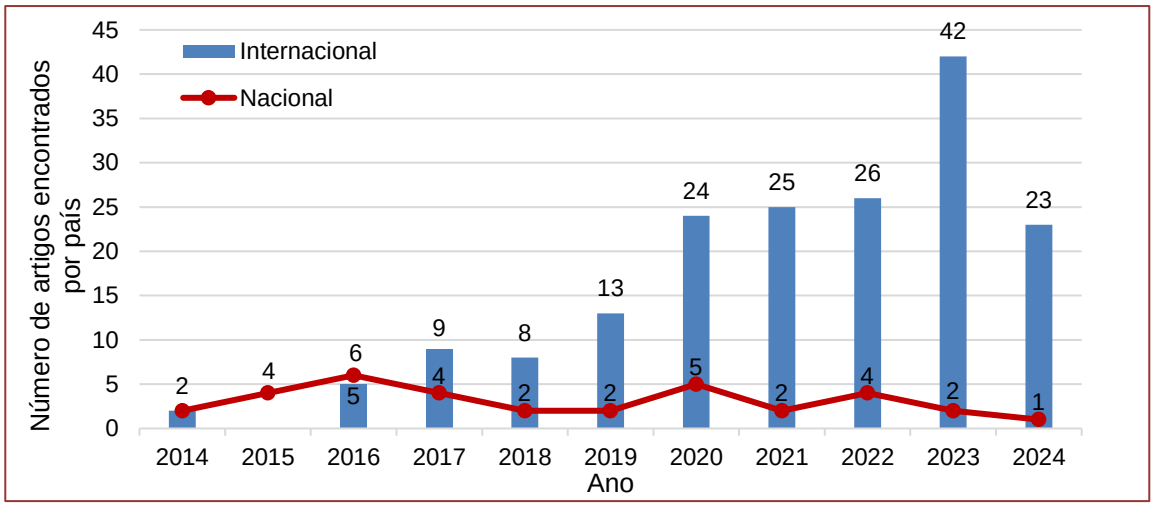
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados reunidos, realizou-se análises em três fases: panorama acadêmico (resultados da revisão sistemática da literatura), panorama de mercado (resultados da pesquisa exploratória) e panorama técnico (resultados dos estudos de casos).

4.1. PANORAMA ACADÊMICO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Os primeiros resultados da fase de síntese demonstram a distribuição do quantitativo de artigos catalogados, publicados ao longo dos últimos 10 anos (Figura 9). Analisa-se que a quantidade de artigos internacionais que tratam sobre o assunto são 5x maior que o total dos artigos nacionais selecionados.

Figura 9 - Distribuição do quantitativo de artigos catalogados, publicados ao longo dos últimos 10 anos



Percebe-se o notável crescimento exponencial que aconteceu durante e após a pandemia da COVID-19, entre 2020 e 2024. Considerando as diversas dificuldades socioeconômicas, sociais e de saúde vividas neste período, acredita-se que o aumento das publicações foi impulsionado pela intensa necessidade de se criar, de forma rápida e ágil, áreas de saúde, moradias e locais de apoio em construção modular para pessoas que passaram por várias necessidades (Chen et al., 2021). Neste período, diversos hospitais de campanha em sistema modular foram construídos por todo o mundo, por gerarem custos e prazos reduzidos. Dentre os exemplos, destacam-se construções em Jacarta (Indonésia) ou Moscou (Rússia), mas os projetos que mais ganharam visibilidade foram os hospitais Lishenshan e Huoshenshan na cidade de Wuhan na China (Andrade, 2021).

Além dos exemplos citados anteriormente, a Quick House, uma empresa modular da América, com projetos consolidados no Brasil e nos Estados Unidos, tem destaque neste setor hospitalar. Em 2020, a QuickHouse construiu o Hospital Modular de Nova Iguaçu (Figura10-a), agora conhecido como Hospital Estadual Ricardo Cruz, em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. O hospital possui 12.800m^2, e foi construído em apenas 60 dias. Outra construção marcante foi o Centro de Hemodiálise São Luiz (Figura 10-b), localizado em São Luiz, no Maranhão. Possuindo 5.000m^2, foi construído em 90 dias.

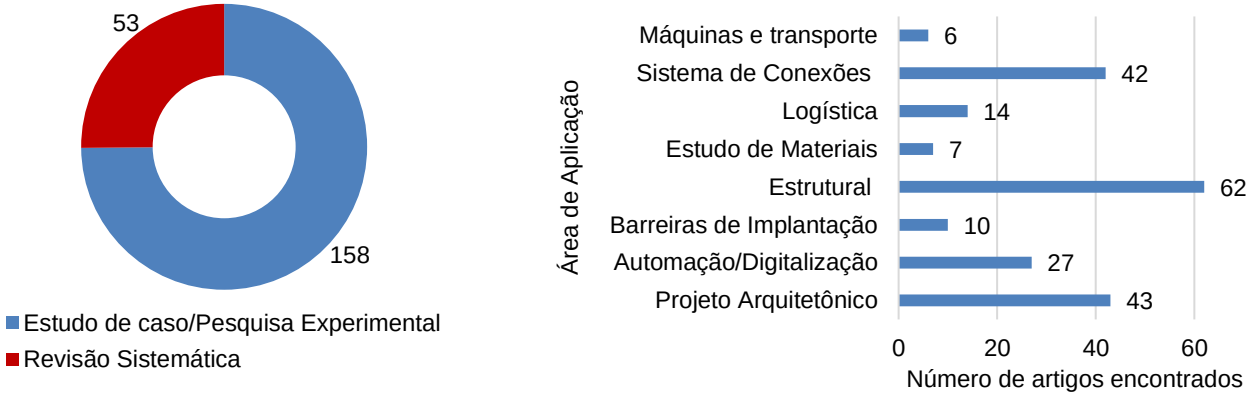
Figura 10 – Hospitais construídos durante a pandemia pela QuickHouse: a) Hospital Estadual Ricardo Cruz; b) Centro de Hemodiálise São Luiz

(a) (b)

Fonte*: QuickHouse*

Com relação aos artigos publicados ao longo dos últimos 10 anos (Figura 9), cita-se a distribuição do quantitativo de artigos catalogados, filtrados por tipologia (Figura 11-a). E na sequência, é apresentada a distribuição de artigos catalogados, com base na área de aplicação que estes se encaixavam (Figura 11-b).

Figura 11 - Distribuição do quantitativo de artigos catalogados: a) filtrados pelo tipo de artigo; b) filtrados com base na área de aplicação

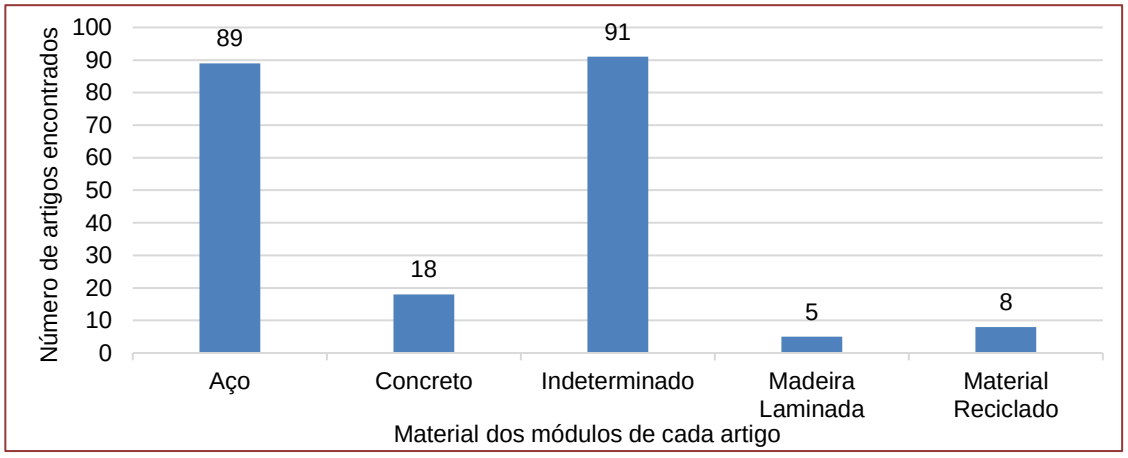


Percebe-se que há uma predominância significativa na quantidade de estudos de casos/pesquisa experimental (74,88%) em comparação com os artigos de revisão sistemática (25,12%). Essa diferença demonstra a prioridade em abordagens de teste/experimentais com relação à construção modular para viabilizar seu uso no setor.

Observa-se que a maioria predominante são de artigos que tratam sobre estruturas e/ou sistemas estruturais (29,38%), projeto arquitetônico (20,38%) e sistemas de conexões (19,91%), respectivamente. Analisando os dados globais, observou-se que existe uma correlação entre essas 3 áreas de aplicação onde a composição, planejamento e fabricação da construção modular se comunicam, além de relacionar a forma como os ambientes são planejados e sua influência no projeto a partir da forma como a conexão estrutural entre estes vai acontecer.

Ainda na fase de síntese, foi feita a distribuição do quantitativo de artigos catalogados, filtrados com base no material dos módulos (Figura 12).

Figura 12 - Distribuição do quantitativo de artigos catalogados, filtrados com base no material dos módulos

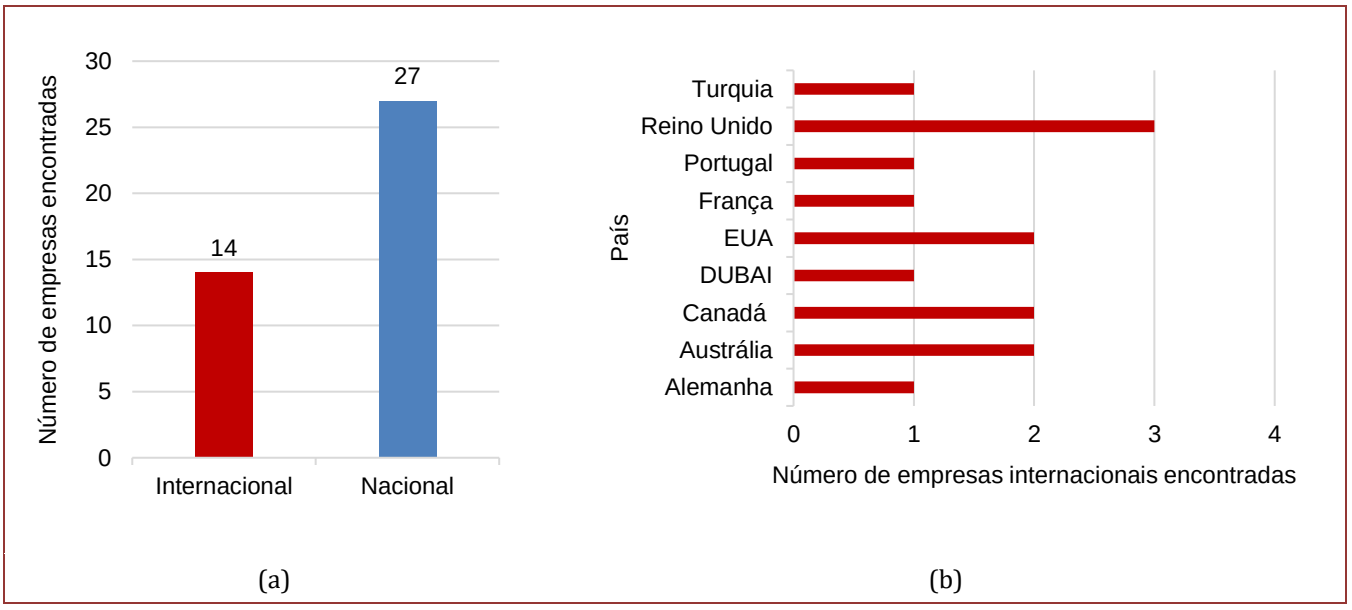


Nota-se a diferença com relação a predominância de construção modulares de aço (41,70%), atribuída ao uso de estruturas em *steel frame*, por conta, provavelmente, da facilidade de transporte, rapidez de execução e agilidade de instalação, especialmente se comparada aos módulos de concreto, que são mais pesados e demandam mais tempo, além de serem mais caros de serem transportados.

4.2. PANORAMA DE MERCADO

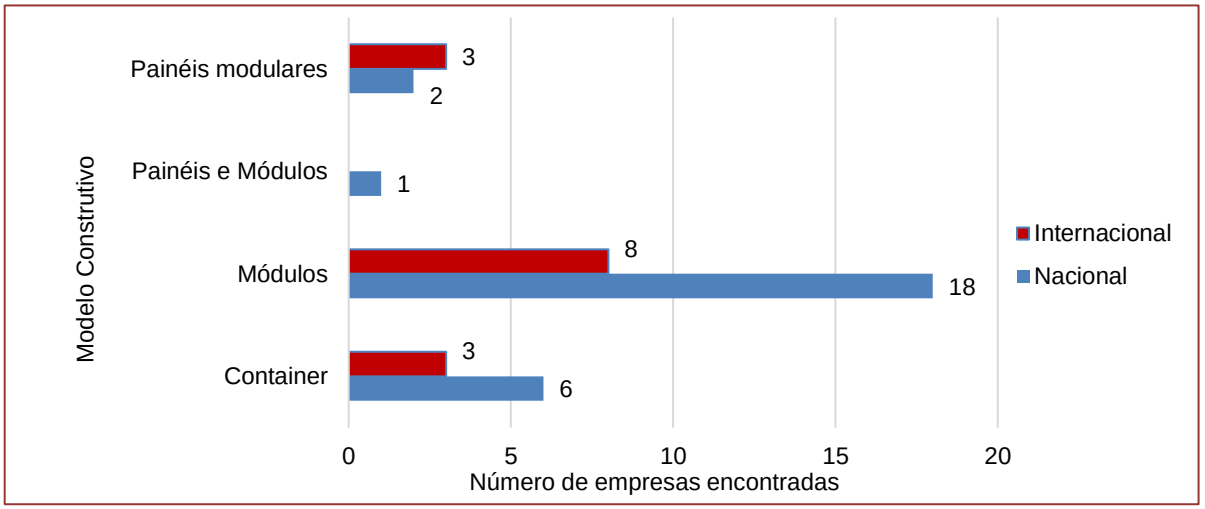
Durante a fase de pesquisa de mercado, foram catalogadas e analisadas diversas empresas de construção modular. A classificação dessas empresas considerou a localização de sua sede, diferenciando aquelas estabelecidas no Brasil das que possuem matriz em outros países (Figura 13).

Figura 13 - Distribuição de empresas encontradas: a) divisão da localização da sede; b) país em que se localizam



Diferentemente das empresas brasileiras, as companhias internacionais se destacaram principalmente pela variedade dos modelos construtivos adotados. Para aprofundar essa análise, as empresas foram classificadas conforme o sistema construtivo empregado (Figura 14), permitindo uma melhor compreensão das tendências e inovações no setor.

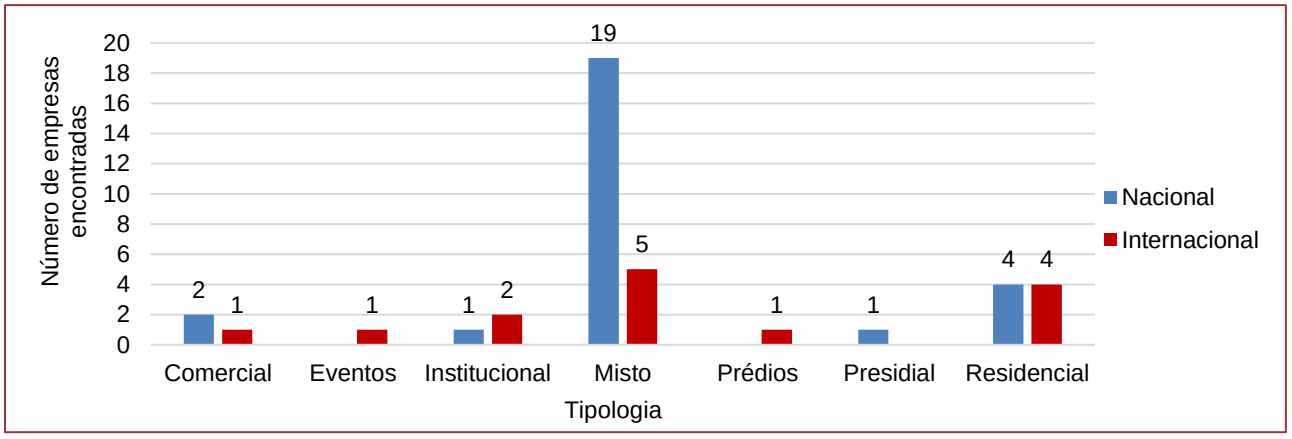
Figura 14 - Distribuição de empresas encontradas, nacionais e internacionais, filtradas com base no modelo construtivo



Com base na classificação dos modelos construtivos, observa-se um predomínio significativo de empresas, tanto nacionais quanto internacionais, que adotam módulos como forma principal de construção. A análise realizada ao longo da pesquisa indica que esse padrão está diretamente relacionado à logística da maioria dessas empresas, já que a utilização de módulos permite um processo construtivo mais ágil e eficiente. Além disso, muitas empresas optam por comercializar módulos pré-fabricados, facilitando a padronização e a escalabilidade das vendas nesse segmento da construção modular. Para mais, é notável que as empresas brasileiras utilizam mais containers do que as empresas internacionais.

Para aprofundar o estudo, as empresas foram classificadas com base na tipologia de trabalho desenvolvida por cada uma, destacando os principais setores encontrados (Figura 15).

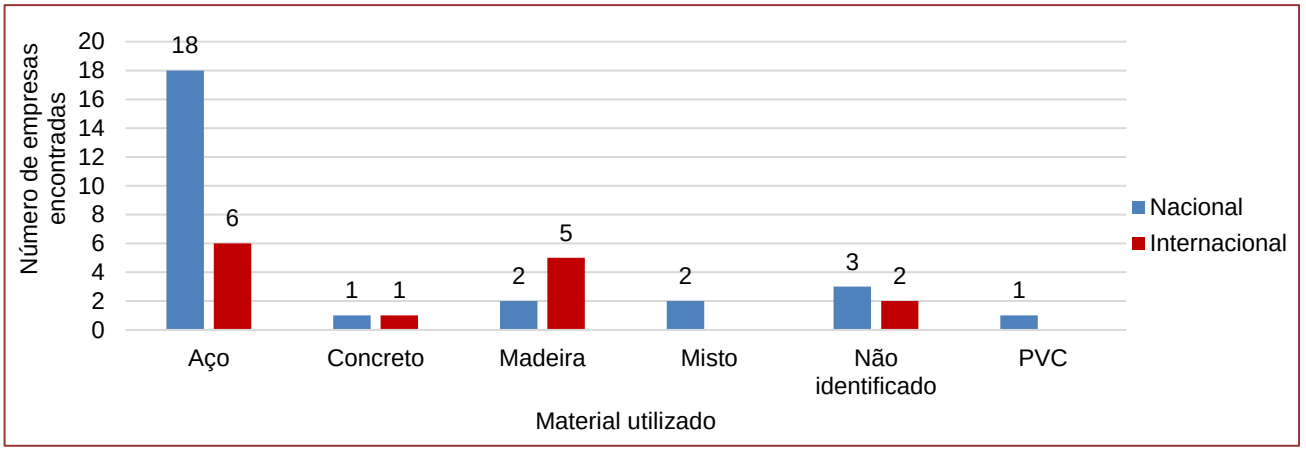
Figura 15 - Distribuição de empresas encontradas, nacionais e internacionais, filtradas com base na tipologia de trabalho



Analisando que a maioria das empresas catalogadas opera com tipologias mistas, significando que abrange diferentes segmentos da construção. Esse resultado sugere uma tendência do mercado em diversificar a aplicação dos módulos, painéis ou containers, adaptando-os a diferentes demandas. Além disso, o setor residencial também se destaca, com um número significativo de empresas especializadas nessa tipologia, indicando um crescimento na adoção desse modelo para habitação.

Para além da análise de tipologias trabalhadas classificadas na Figura 15, foi necessário compreender as principais tendências no uso de materiais. Com isso, as empresas foram classificadas de acordo com o material predominante em seus sistemas construtivos (Figura 16).

Figura 16 - Distribuição de empresas encontradas, nacionais e internacionais, filtradas com base no material do modelo construtivo utilizado



Sendo o aço o material mais amplamente utilizado na construção modular, para ambos os cenários (nacional e internacional), é devido a dois motivos: o uso crescente do *steel frame* e as empresas que trabalham com containers. Ademais, o aço é um material resistente, durável e flexível na montagem de módulos e painéis. Em seguida, a madeira aparece como uma alternativa relevante, especialmente em países como os Estados Unidos, onde há tradição no uso desse material por conta do *wood frame*. O concreto tem uma participação menor, mas ainda é empregado em algumas soluções modulares, principalmente em empresas de painéis de concreto.

As empresas classificadas como "misto" utilizam combinações de materiais, sendo o aço e o concreto os identificados nessa categoria. Além disso, foi encontrada uma empresa que trabalha com PVC, material que, apesar de menos representativo, pode oferecer vantagens como leveza e resistência à umidade. Por fim, algumas empresas não especificam claramente o material utilizado, onde a maioria delas não tinha um portfólio virtual ou redes de acesso para identificação do material.

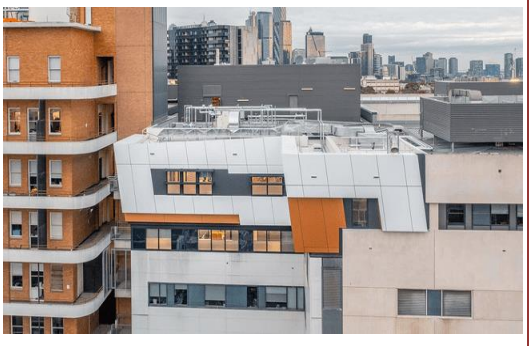
4.3. PANORAMA TÉCNICO: ESTUDOS DE CASO

O panorama técnico foi dividido em subcapítulos com o objetivo de mostrar possibilidades de soluções construtivas encontradas da arquitetura modular. Para isso, as semelhanças e diferenças foram analisadas e catalogadas em formato de tabelas observando o projeto arquitetônico, os sistemas de fundação, os sistemas de estrutura e vedação, os sistemas de revestimentos e acabamentos, os sistemas de instalações elétricas e hidrossanitárias e os sistemas de cobertura. Na coluna direita das tabelas são apresentados os projetos nacionais e na coluna esquerda os projetos internacionais.

4.3.1. PROJETO ARQUITETÔNICO

Baseando-se em empresas que utilizam o método construtivo por módulos, analisaram-se diversos projetos com o objetivo de compreender como o projeto arquitetônico é concebido na construção modular. Além disso, foram estudadas as tipologias, geometrias, volumetrias e configurações espaciais desses projetos na Tabela 7.

Tabela 7 – Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco nos projetos arquitetônicos

Projeto Nacional	Projeto Internacional
(a)	(b)
Fonte: CMC Modular / Alma Maraú, 2022	Fonte: Modscape / St Kilda, 2020
(c)	(d)
Fonte: Modularis / Loja Cacau Show, 2021	Fonte: Modscape / Monash College Learning Village, 2015
(e)	(f)
Fonte: ZenHouse / Curumim, 2020	Fonte: Premier Modular / Bridge Court Apartments, 2022
	
(g)	(h)
Fonte: TecnoFast Brasil / Prédio de apoio da Rede Globo, 2016	Fonte: Modscape / Royal Women's Hospital MRI Relocation, 2023

No âmbito residencial, observou-se que a maior parte das casas segue um padrão retangular, acompanhando o formato dos módulos industriais (Tabela 7-a). No entanto, algumas empresas adotam estratégias para diferenciar a estética dessas construções, seja por meio da cobertura, criando variações visuais, seja pela combinação de módulos em diferentes orientações (Tabela 7-b).

Na Tabela 7-c, demonstra uma loja da Cacau Show, que foi feita em parceria com a Modularis. Entre 2021 e 2022, foram entregues centenas de unidades nesse mesmo formato, o que mostra a eficiência da construção modular para franquias. No setor comercial, essa abordagem possibilita uma instalação rápida e padronizada, trazendo uma identidade visual especifica para a marca.

Em projetos institucionais, é possível identificar a utilização de um estacionamento para trazer uma configuração espacial diferente da retangular (Tabela 7d). Esse planejamento levou em conta aspectos de conforto térmico e qualidade do ambiente externo, criando espaços sombreados entre os edifícios para oferecer maior comodidade aos alunos. Além disso, utiliza cores e módulos de varandas para criar ligação entre as salas de aula, usando o ambiente externo como centro real do projeto.

A maioria dos exemplares arquitetônicos nacionais encontrados não apresentava flexibilidade construtiva, adotando volumetrias predominantemente retangulares e básicas. No entanto, havia tentativas de enriquecer a estética externa por meio de elementos como avanços (Tabela 7-e), varandas e grandes beirais (Tabela 7-g).

O projeto do Bridge Apartments (Tabela 7) exemplifica a possibilidade de variação arquitetônica por meio do uso de módulos, tanto para o edifício quanto para as pontes que os conectam. Esse empreendimento teve grande relevância, pois proporcionou 58 apartamentos para pessoas em emergência habitacional, evidenciando mais uma vez as múltiplas vantagens da construção rápida e eficiente.

A Tabela 7-h exemplifica a solução estratégica de ampliação de hospitais, com o objeto de reforma ainda em funcionamento. A expansão do Royal Women's Hospital, recebendo um novo departamento de ressonância magnética por meio da adição de módulos pré-fabricados ao edifício existente demonstra a utilização de um método que minimiza interrupções no hospital ativo, não prejudicando a demanda local. Para mais, nota-se como o objeto arquitetônico procura utilizar acabamentos que se misturem ao ambiente existente, realizando uma ligação com o entorno.

4.3.2. SISTEMAS DE FUNDAÇÃO

Na construção civil, a escolha do sistema de fundação depende das características do solo, do peso da estrutura e da necessidade de mobilidade da edificação. Diferentes abordagens são utilizadas para garantir a estabilidade e a eficiência do processo construtivo. Com isso, foram analisadas as soluções adotadas em diversos exemplares (Tabela 8).

Tabela 8 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco nas fundações

Projeto Nacional	Projeto Internacional
(a)	(b)
Fonte: CMC Modular, s.d.	Fonte: Modscape / Monash College Learning Village, 2015
(c)	(d)
Fonte: Mondial Modulares / Universidade Federal de Sergipe – UFS, s.d.	Fonte: Modscape / Shepparton Private Hospital, 2015
(e)	(f)
Fonte: ZenHouse / Sede Marau, 2020	Fonte: Clayton Homes / CrossMod Atlanta, 2023

Durante a análise de projetos, a fundação em radier é uma das opções mais utilizadas, consistindo em uma laje de concreto armado distribuída por toda a base da construção, proporciona uma superfície uniforme para instalação dos módulos (Tabela 8-a, c). Além disso, observa-se também o uso de sapatas simples com base retangular (Tabela 8-b) e base quadrada (Tabela 8-d) de concreto armado. O diferencial desses projetos foi que as sapatas foram ligadas por tiras metálicas que servem como suporte para o encaixe dos módulos, onde uma é semienterrada (Tabela 8-b) e outra completamente enterrada (Tabela 8-d).

Já a Tabela 8-e, f representam um sistema de sapata isolada enterrada, no qual cada ponto estrutural recebe um suporte individual. Esse tipo de fundação é utilizado quando há necessidade de distribuir a carga de maneira pontual, garantindo estabilidade à construção. Após a instalação dos módulos, a parte inferior da estrutura é preenchida com

brita e são criadas rampas ou escadas para nivelar até alcançar o mesmo nível da edificação.

4.3.3. SISTEMAS DE ESTRUTURA E/OU VEDAÇÃO

Os resultados de análise, considerando os aspectos de sistemas estruturais e vedações (Tabela 9) destacando-se pela versatilidade, a construção modular permite diferentes materiais estruturais e sistemas de vedação, adaptando-se a diferentes demandas e contextos construtivos. Diferentes materiais e técnicas são empregados para atender às demandas específicas de cada projeto.

Tabela 9 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco nos sistemas estruturais e de vedação

Projeto Nacional	Projeto Internacional
(a) Fonte: CMC Modular, s.d.	(b) Fonte: Clayton Homes, s. d.
(c) Fonte: ZenHouse / Sede Marau, 2020	(d) Fonte: Guerdon Modular / 805 Struthers, 2022
(e) Fonte: TAEC Módulos, s.d.	(f) Fonte: Premier Modular, 2023

Tabela 9 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco nos sistemas estruturais e de vedação (continuação)

(g)	(h)
Fonte: NFI Modular / Banheiros prontos, s.d.	Fonte: ROC Modular / Aster Place, 2022

No Brasil, em sua maioria, foram encontrados projetos que trabalham com estrutura metálica (Tabela 9-a, c, e, g), podendo ser por conta da sua resistência mecânica e leveza. Já em outros países, foram encontradas uma variedade de materiais para vedação (Figura 16), podendo até mesmo serem mistos (Tabela 9-h).

Em outros países fora o Brasil, principalmente nos Estados Unidos, a madeira é um dos materiais mais utilizados em módulos (Tabela 9-b, d, h). Em sua maioria, os sistemas de esquadria, muitas vezes as construções modulares chegam ao local de montagem com estas instaladas. Isso evita a necessidade de acabamentos de última hora e ocupação desnecessária do espaço de construção.

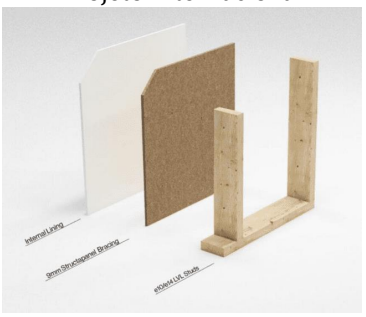
Alguns módulos chegam ao canteiro de obras com apenas três paredes de vedação (Tabela 9-c), em vez de quatro, permitindo o encaixe entre os módulos durante a montagem. Essa estratégia facilita a integração dos espaços e a finalização da composição final do ambiente *in loco*.

Além disso, também foram encontrados exemplos onde os chassis são construídos por inteiro para posterior fechamento da vedação com placas (Tabela 9-e, f). A modularidade também permite a produção de unidades específicas, como banheiros e outros módulos funcionais, como na Tabela 9-g, que são fabricados separadamente e transportados prontos para o local de uso.

4.3.4. SISTEMAS DE REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS (INTERNOS E EXTERNOS)

Os sistemas de revestimentos e acabamentos, tanto internos quanto externos, desempenham um papel essencial, contribuindo para a estética, o conforto térmico e acústico, além da durabilidade das edificações. Foram analisados diversos tipos e padrões diferentes desses sistemas, tendo como foco sua composição, isolamentos termoacústicos e possibilidades de pintura/revestimentos (Tabela 10).

Tabela 10 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco em sistemas de revestimento e acabamento

Projeto Nacional	Projeto Internacional
	
(a)	(b)
Fonte: QuickHouse	Fonte: Modscape
(c)	(d)
Fonte: ZenHouse / Sede Marau, 2020	Fonte: Clayton Homes, s.d.
(e)	(f)
Fonte: TAEC Módulos / Stand Chiquinho, 2016	Fonte: Guerdon Modular, s.d.
(g)	(h)
Fonte: Mondial Modulares / Universidade Federal de Sergipe – UFS, s.d.	Fonte: Premier Modular / Modular Welfare Hub, 2024

Diversas empresas utilizam um padrão próprio de camadas de vedação (painéis sanduíches) (Tabela 10-a, b, c). No Brasil, alguns projetos dão prioridade a adição de isolamento, por exemplo o esquema de montagem da empresa QuickHouse (Tabela 10-a), onde o padrão de acabamento compõe lã de vidro. No setor internacional, a maior parte dos módulos também são compostos com isolamento termoacústico (Tabela 10-d), por conta do clima ou da tentativa de melhorar a eficiência energética das construções, minimizando a necessidade de climatização adicional.

No planejamento dos revestimentos, os módulos também podem receber pintura como parte final do acabamento (Tabela 10-f). Em alguns casos, os acabamentos externos chegam prontos ao canteiro de obras, facilitando a montagem final do edifício e reduzindo a necessidade de ajustes in loco (Tabela 10-e). Entretanto, existem sistemas de módulos que chegam apenas com a estrutura no canteiro, levando painéis separados de acabamentos internos e externos, sendo instalados em placas de gesso após a montagem das paredes (Tabela 10-g).

Por fim, foi encontrado um projeto que realizou o acabamento externo com uma parede verde (Tabela 10-h), destacando a possibilidade de utilização de um elemento externo referencial e que não foi encontrado em outros exemplares de construções modulares.

4.3.5. SISTEMAS DE INSTALAÇÕES (ELÉTRICAS E HIDRÁULICAS)

No caso de instalações elétricas e hidráulicas, há uma variedade no processo de montagem. Alguns exemplos foram demonstrados na Tabela 11.

Tabela 10 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco em sistemas de instalações

Projeto Nacional	Projeto Internacional
(a) Fonte: CMC Modular, s.d.	(b) Fonte: Modscape, s.d.
(c) Fonte: Modularis, s.d.	(d) Fonte: Modscape / Shepparton Private Hospital, 2015

Durante a análise das instalações elétricas e hidráulicas, tanto no Brasil quanto em outros países, os projetos tinham dois seguimentos. O primeiro modo, onde as instalações elétricas chegam praticamente prontas ao canteiro de obras, necessitando apenas de ajustes e conexões finais para o funcionamento pleno do sistema, podendo ser instaladas antes do isolamento, ainda em fábrica (Tabela 10-a, b). O segundo modo, onde as instalações vão soltas dentro dos módulos e toda a conexão é feita dentro do canteiro de obras (Tabela 10-c, d).

Na Tabela 10-c, com o objetivo de facilitar a manutenção, algumas instalações elétricas são aparentes e passam por eletrodutos galvanizados de ¾". Já as instalações hidráulicas são embutidas no chassi do piso e nos painéis, utilizando tubulações de PVC ou PEX (*wood frame*) de diferentes diâmetros.

4.3.6. SISTEMAS DE COBERTURA (CAPTAÇÃO DE ÁGUA)

Os sistemas de cobertura variavam conforme o tipo de projeto e sua funcionalidade. Buscou-se entender se, em sua maioria, eram utilizadas telhas cerâmicas, fibrocimento, entre outras, ou lajes impermeabilizadas. Os sistemas de captação de água foram analisados na Tabela 11.

Tabela 11 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco em sistemas de coberturas

Projeto Nacional	Projeto Internacional
(a)	(b)
Fonte: CMC Modular, s.d.	Fonte: Modscape / The Avenue Hospital Extension, 2017
(c)	(d)
Fonte: ZenHouse / Sede Marau, 2020	Fonte: Modscape / Wardell Public School, 2024

Tabela 11 - Imagens de projetos nacionais e internacionais, com foco em sistemas de coberturas (continuação)

(e)	(f)
Fonte: Modularis, 2024	Fonte: Guerdon Modular, s.d.

Foi analisado que uma das características principais era a presença da platibanda. No caso da Tabela 11-a, ela foi entregue já integrada aos módulos, enquanto o telhado foi montado em campo para complementar a estrutura. Como complemento, na maioria dos casos encontrados, o telhado é entregue pronto, seja como um módulo separado a ser montado (Tabela 11-b) ou integrado ao conjunto de parede, piso e teto (Tabela 11-d).

O projeto da Tabela 11-c se destaca por trazer um telhado em várias águas, facilitando a captação e reaproveitamento da água da chuva, integrando um sistema de bomba para armazenamento da água coletada. Além disso, da mesma forma como acontece com as construções tradicionais, a possibilidade de instalação de painéis solares reforça o compromisso com a eficiência energética sustentável.

No cenário internacional, destacam-se diversas abordagens quanto aos materiais utilizados na cobertura, que geralmente eram os mesmos do restante da edificação. Por exemplo, em edificações metálicas, a cobertura acompanhava essa escolha estrutural (Tabela 11-b), assim como em construções de madeira, a estrutura do telhado também seguia esse material (Tabela 11-f). No Brasil, contudo, a maior parte dos projetos encontrados eram de estrutura metálica com telhas de fibrocimento (Tabela 11-a) ou metálicas (Tabela 11-c, e).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o processo de pesquisa sobre os aspectos da construção modular, incluindo suas funcionalidades, tendências, principais desafios, práticas e inovações, foi possível realizar uma análise técnica e de mercado dessa metodologia construtiva. Observou-se que esse modelo tem crescido gradualmente no setor da construção civil. No entanto, a valorização do método ocorre de forma localizada, dependendo do nível de conhecimento do público e da maturidade do setor em cada região.

Na última década, observou-se um aumento significativo na quantidade de pesquisas acadêmicas, o que demonstra um crescente interesse na temática, explorando diversas áreas de aplicação, utilização de diferentes materiais e projetos sendo implementados globalmente. Entretanto, ainda há diversos desafios de implantação da modularização no Brasil, como a carência de mão de obra adequada e a visibilidade limitada das empresas nacionais que trabalham com essa tecnologia.

Sabe-se que os resultados encontrados demonstram apenas uma parcela das pesquisas, porém foi possível entender o estado da arte atual com as referências estudadas. Ademais, percebeu-se que, principalmente no Brasil, o conhecimento sobre construção modular não está concentrado em estudos acadêmicos, mas sim em portfólios comerciais. Isso indica que, embora existam projetos viabilizados na prática, eles não estão suficientemente documentados em publicações científicas, dificultando o avanço do conhecimento técnico no setor.

Também foram encontrados uma quantidade maior de artigos internacionais sobre o tema, reforçando a percepção sobre a cultura consolidada da documentação científica relacionada à construção modular, que não foi completamente desenvolvida no Brasil, o que reforça a necessidade de mais estudos na área para fortalecer essa tecnologia construtiva no país.

No âmbito comercial, observa-se que muitas empresas brasileiras adotam um modelo de venda padronizado, oferecendo projetos pré-definidos sem margem para personalização. Esse fator pode afastar potenciais clientes que buscam desenvolver projetos customizados, limitando a adoção do sistema modular por um público que valoriza a customização. Além disso, no que se refere à aspectos de geometria e volumetria dos projetos, o Brasil ainda apresenta um desenvolvimento restrito, com composições predominantemente convencionais e reduzida flexibilidade construtiva. No entanto, quando se trata de materiais e acabamentos internos e externos, as empresas nacionais demonstram um avanço significativo, empregando tecnologias inovadoras e oferecendo uma ampla diversidade de soluções, como diferentes tipos de revestimentos e isolamentos que podem ser utilizados.

A análise comparativa entre projetos nacionais e internacionais revelou uma diferença marcante em termos de diversidade construtiva. Em contextos internacionais, os módulos são frequentemente adaptados ao terreno, ao clima e ao conforto dos usuários, resultando na valorização da variabilidade volumétrica. Já os estudos de caso brasileiros, no âmbito arquitetônico, indicam uma predominância de soluções padronizadas e simplificadas, com poucas exceções que exploram configurações mais complexas. Essa diferença sugere que a construção modular no Brasil ainda se encontra em um estágio de consolidação, com foco na padronização e otimização de processos, enquanto, em outros países, há uma exploração mais ampla das possibilidades formais e funcionais deste sistema.

Dessa forma, há um grande potencial de crescimento para a construção modular no Brasil, especialmente se houver uma ampliação das estratégias de marketing e divulgação de serviços. A oferta de soluções mais personalizáveis e versáteis poderia impulsionar a adoção desse modelo construtivo, tornando-o mais atraente para um público diversificado e fortalecendo sua presença no mercado nacional.

Diante desse cenário, reforça-se a necessidade de ampliar a visibilidade da construção modular, tanto no meio acadêmico quanto no setor da construção civil. Também se destaca a importância de uma investigação mais aprofundada sobre certificações, adequações legais e desafios técnicos que possam impactar a adoção desse método no Brasil. Além disso, estudos de caso nacionais e suas correlações com experiências internacionais podem contribuir para aumentar a aceitação e o crescimento desse modelo construtivo no país.

REFERÊNCIAS

[1] ARTICO, Rafael. **Módulos volumétricos pré-fabricados: avaliação da funcionalidade de leiautes residenciais**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 2020. Acesso em: 9 set. 2024.

[2] FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. **Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SFF <p> DEMYSTIFYING THE LITERATURE REVIEW AS BASIS FOR SCIENTIFIC WRITING: SSF METHOD**. Revista ACB, Florianópolis. 2016. Acesso em: 9 set. 2024.

[3] CHEN, L.-K. *et al.* **Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic.** Automation in Construction, v. 124, p. 103555, 2021. Acesso em: 9 set. 2024.

[4] CRESPO, Marina Rosa. **Coordenação modular: acepções contemporâneas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Acesso em: 10 set. 2024.

[5] HORTA, Bernardo de Andrade. **Construção modular tridimensional: pré-fabricação, tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura.** 2020. Acesso em: 10 set. 2024.

[6] TERIBELE, Alessandra. **Arquitetura Com Sistema Pré-Fabricado Modular Volumétrico**. 2016. Acesso em: 10 set. 2024.

[7] CARVALHO, Bruno Soares de. **UM MÉTODO DE ENTREGA DE PROJETO PARA CONSTRUÇÃO MODULAR BASEADO NOS PRINCÍPIOS LEAN**. 2020. Acesso em: 14 set. 2024.

[8] BRAIDE, Vanessa Araújo**. Racionalidade construtiva e arquitetura escolar.** 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Acesso em: 16 set. 2024.

[9] CNN Brasil. **Setor de construção civil projeta aquecimento para início de 2024.** CNN Brasil, 5 set. 2023. Acesso em: 8 set. 2024.

[10] ANDRADE, D. P. DE A. *et al*. **ARQUITETURA EMERGENCIAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RESPOSTAS PROJETUAIS À PANDEMIA DA COVID-19**. Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente, v. 6, n. 2, p. 128–140, 12 maio 2021. Acesso em: 09 out. 2024.

[11] LACEY, Andrew. *et al*. **Structural Response of Modular Buildings – An Overview**. 2017. Journal of Building Engineering. Acesso em: 24 nov. 2024.

[12] RIBEIRO, Nina. **Etapas da construção modular.** PREVISION, 4 jul. 2024. Acesso em: 25 nov. 2024.

[13] OLIVEIRA, Eduardo Alves de. *et al.* **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONSTRUÇÃO MODULAR E CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL.** Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 2024. Acesso em: 26 nov. 2024.

[14] MAZINI, Mateus. **Uso de contêineres na construção civil.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza. 2022. Acesso em: 13 dez. 2024.

[15] MEIRELLES, Flávia Devechio Providelo. **Construção a seco: drywall x contêineres**. Centro Universitário Anhanguera. 2017. Acesso em: 13 dez. 2024.

[16] ALMEIDA, Luiza Rangel de. **Estudo de sistemas construtivos pré-fabricados modulares aplicados em canteiros de obras.** Universidade Federal de Minas Gerais. 2015. Acesso em: 15 dez. 2024.

[17] BARBOSA, Rodrigo Ramos. **SISTEMAS PRÉ-MOLDADOS E A CONSTRUÇÃO MODULAR**. UNIC, Rondonópolis. 2022. Acesso em: 15 dez. 2024.

[18] MODSCAPE. **What we do: Modbotics.** Kits of Parts & Volumetric Metrics. Acesso em: 15 jan. 2025.

[19] OLAWUMI, T. O., Chan, D. W. M., Ojo, S., & Yam, M. C. H. **Automating the modular construction process: A review of digital technologies and future directions with blockchain technology**. Journal of Building Engineering, 2022. Acesso em: 21 jan. 2025.

[20] SILVA, Francisca Mayane de Sousa. *et al.* **COMPARATIVO DE CUSTO DE CONSTRUÇÃO ENTRE MÉTODOS TRADICIONAL E PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 2023. Acesso em: 28 jan. 2025.

[21] TEIXEIRA, M. L. A. **O trabalho na construção, entre a pré-fabricação e a montagem.** Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Acesso em: 28 jan. 2025.

[22] FILHO, Celso Modesto Ferreira. *et al.* **Os desafios do sistema construtivo modular: estudo de caso realizado no lote nº 25, Condomínio Reserva do Parque, Manaus.** Revista Veras. 2021. Acesso em: 28 jan. 2025.

[23] LAFAETE. **CONTAINER X MÓDULO HABITACIONAL**. Blog Lafaete: Projetos Especiais. Acesso em: 06 fev. 2025.

[24] SERRA, Gustavo Silva de Carvalho; CARDOSO, F. F.; CARDOSO, L. R. A. **Cadeia produtiva da construção modular e seus processos logísticos: uma revisão sistemática de literatura.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2024, Maceió. Acesso em: 24 fev. 2025.

[25] BARTUCCI, Maria Júlia. **TUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE CONTAINERS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Alicerce JR. 2020. Acesso em: 26 fev. 2025.

Autores

AUTORES

ALINE MARA OLIVEIRA (ORGANIZADORA)

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2012). Pós Graduada em Gestão de Projetos (FGV 2014-5015). Ministrou aulas no Centro Universitário do Planalto de Araxá(2015-2016) e no CEFET-MG nos cursos de graduação e técnicos. Tem experiência na área de Automação Industrial, Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, proteção de sistemas elétricos, IEC-61850, automação, instrumentação, sistemas de controle, equacionamento de controladores, sistemas multivariáveis e teoria de controle. Trabalhou na indústria no setor de projetos industrias no período de 2007 a 2015. Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia. (2017-2019). Atualmente doutoranda no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.(2019-2023)

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

AGAHILTON OLIVEIRA DE SOUZA JÚNIOR

Acadêmico do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina

ANOAR ABBAS EL-AOUAR

Docente do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

ANTONIO AUGUSTO ALVES PEREIRA

Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina

ARIANE PREVEDELLO RUBIN

Arquiteta e Urbanista, Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil. Docente nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, e Engenharia Civil, da Universidade Senai CIMATEC.

BRUNA HELOÍZA GOMES DA SILVA

Acadêmica do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

CAROLINA VIEIRA VIÊGAS

Possui graduação em Química Licenciatura pela Universidade Federal do Rio Grande (2006), Mestrado em Quimica Tecnológica e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande (2010) e Doutorado em Tecnologia de Processos Quimicos e Bioquimicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2015) e 2 Pós- Doutorados. Atualmente é Professora da Escola de Química - Departamento de Processos Orgânicos- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

AUTORES

CLEDIMAR ROGÉRIO LOURENZI

Doutor em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Catarina

DENISDELKIAN SOUZA DINIZ

Acadêmico do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

DOUGLAS ROMEU DA COSTA

Possui graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2004), Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2006), Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2010) e Pós-Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2012). Possui experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Energização Rural, atuando principalmente nos seguintes temas: energização rural, secagem de grãos, secagem de café, desenvolvimento de geradores de energia térmica.

EVERTON PEREIRA FERNANDES

Acadêmico do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

FABÍOLA FREITAS DE MIRANDA

Bacharel em Administração

FELIPE BRITO DE LIMA

Estudante de Engenharia Química na Universidade Federal do Pará, desde 2023, com foco em cosméticos. Busco aplicar minhas habilidades em pesquisa e desenvolvimento de produtos cosméticos.

FERNANDO DE SOUSA SANTANA

Doutor em Educação, Mestre em Administração, Especialista em Segurança do Trabalho, atua como contador da Santana Consultoria e Assessoria Contábil e como Professor e Pró-Reitor de Ensino do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

GISEL CHENARD DÍAZ

Possui pós-doutorado pela Universidade de Malága - Espanha (2015), doutorado em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ (2012), mestrado em Análise e Controle de Processos (2003) e graduação em Engenharia Química (1997) pelo Instituto Superior Politécnico José Antônio Echevarría (ISPJAE) de Cuba, Técnico Meio em Química Industrial pelo Instituto Politécnico de Química (IPQ) de Cuba (1989). Atualmente, atua nos projetos de pesquisa do Professor Donato Aranda (UFRJ) e como colaboradora externa do Grupo de Catálise da Universidade Estadual da Zona Oeste (UEZO).

HUGO DOS SANTOS

Técnico em Eletrotécnica e graduando em Engenharia Eletrônica, na Universidade Federal de Sergipe, com atuação em pesquisa sobre energia solar off-grid para agricultura familiar, buscando soluções para garantir autonomia energética e sustentabilidade no setor, bem como otimizar o uso da energia solar para melhorar a produtividade. Possuo experiência em projeto de sistemas solares on-grid, focando na viabilidade e eficiência de soluções energéticas sustentáveis, e instalações elétricas.

AUTORES

JAMILLY ROSE FREITAS DIAS

Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, com conhecimentos em áreas multidisciplinares. Atuo em laboratórios com foco em produtos naturais, expandindo habilidades técnicas e analíticas.

JOÃO ERCIO MIRANDA JÚNIOR

Mestre em Engenharia

JORGE LUIZ BARCELOS OLIVEIRA

Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Catarina

JOSELMA ARAÚJO DE AMORIM

Docente do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

LUIS GUSTAVO FIGUEIREDO FRANÇA

Possui graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2011). Mestrado (2014) e doutorado (2017) em Engenharia Agrícola com ênfase em Construções Rurais e Ambiência Animal pela Universidade Federal de Viçosa, especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho (2014) pela Universidade Federal de Viçosa. É Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe. Participa do Núcleo de pesquisa em Ambiência e Engenharia Agroindustrial (Ambiagro) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Participa do "Grupo de estudos em engenharia agrícola (GEAGRI)" da Universidade Federal de Sergipe além dos grupos de pesquisas "Ambiência e instalações na produção animal" e "Estruturas, sistemas e processos para manejo tratamento de resíduos agroindustriais", ambos sediados no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Atualmente é vice-chefe do DEAGRI/UFS vice coordenador do curso de Engenharia Agrícola da UFS e presidente do NDE da Engenharia Agrícola da UFS. É membro da Comissão Coordenadora do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Cientifica (COMPIBIC) da UFS. Faz parte do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (BASis) do Inep.

MAGNO FELIPE HOLANDA BARBOZA INÁCIO TEIXEIRA

Atualmente atua como docente nas áreas de Ciências da Computação e Engenharias. Possui formação multidisciplinar, com graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário Estácio do Recife e em Engenharia Química pelo Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Detém formação técnica em Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). Pós-graduado em Análise de Risco Ambiental (PETROBRAS-PROMINP). Concluiu o mestrado em Engenharia Química e também em Engenharia Mecânica, ambos pelo CTG/UFPE. Doutor em Engenharia Química pela mesma instituição.

MARIA JOSÉ HELOISA DOS SANTOS ALVES

Estudante de Engenharia Química na Universidade Federal do Pará, cujo principais interesses de estudo são temas voltados ao desenvolvimento sustentável, biotecnologia e cosmetologia. Busco aplicar minhas habilidades em pesquisa e fabricação de produtos naturais.

MARILDA DA PENHA TEIXEIRA NAGAOKA

Doutora em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina

AUTORES

MÁRIO CUPERTINO DA SILVA JÚNIOR

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2004), mestrado e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2006 e 2010), com estágio de doutoramento na Universidade de Valladolid, em Valladolid, Espanha (2008-2009). Atualmente é professor Associado na Universidade Federal de Sergipe. Tem experiência e interesse em Automação Agrícola, atuando principalmente nos seguintes temas: Processamento Digital de Imagens, Agricultura de Precisão, Visão Computacional e Automação de Processos Agrícolas.

MARLICE CRUZ MARTELLI

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1987), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1997) e doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (2006). Atualmente é professora associado IV da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Mineralogia Aplicada, Resíduos Sólidos e Processos de Separação, atuando principalmente nos seguintes temas: alumina, caulim, adsorção, adsorvente e zeólita

NARA SILVEIRA VELLOSO

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2014), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2016) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2020). É professora no departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Sergipe. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Máquinas e Implementos Agrícolas, atuando principalmente nos seguintes temas: propriedades físicas de produtos biológicos, vibrações mecânicas e simulações numéricas.

NATÁLIA ESTEVES DOS SANTOS

Engenheira Química pela Universidade Federal do Pará. Experiência em projetos de melhoria contínua e gerenciamento de projetos OPEX e CAPEX em refinaria de bauxita. Habilidades destacadas em planejamento e controle de produção, e expertise na criação e manipulação de controles. Condução de reuniões com clientes externos e pelo controle assertivo da produtividade das equipes. Atualmente, Pós-Graduanda em Engenharia Mineral Metalúrgica (M. Eng.) na PUC-Minas. Destaca-se na área de laboratórios, com competências técnicas em análises de águas e efluentes conforme padrões internacionais de qualidade, incluindo a implementação da ISO 6140 e ISO 9001. Experiência em análise química e processamento físico mineral, aplicando técnicas de amostragem para minério de bauxita, com domínio em tratamento estatístico avançado de dados de análises de processo e produção. Autora do capítulo "Implementação de Etapas de Garantia e Controle de Qualidade (QAQC) em um Laboratório Físico de Beneficiamento de Bauxita", publicado no livro "Engenharia, Gestão e Inovação" pela editora Poisson, em 2023.

NILO ANTONIO DE SOUZA SAMPAIO

Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP (1994), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté UNITAU (2005), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP (2011). Atualmente é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro atuando na graduação dos cursos de Engenharia, no Mestrado em Engenharia Ambiental (PEAMB) e no Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB). Tem experiência na área de Matemática e Estatística, com ênfase em Aplicações da Estatística e da Matemática em Ciências, Modelamento Matemático, Otimização e Planejamento de Experimentos, Estatística Multivariada e Monitoramento de Processos.

PIERRE CORRÊA MARTINS

Docente do curso de Engenharia de Alimentos/DEA/CT/UFPB

AUTORES

RENE GONZALEZ CARLIZ

Graduado em Economia em 1993 no Instituto Politécnico de Economia de Sandino, Pinar do Rio em Cuba. Trabalhou como Gerente das áreas Econômicas e de Recursos Humanos de diferentes empresas. Tem experiência em Seguridade e Saúde do Trabalho, pratica em balancetes, analises e conciliação bancaria, fluxo de caixa em Excel e domínio do programa SISCONT. Trabalhou no Banco Metropolitano, a partir de Fevereiro de 2004, como Especialista em Sistema Bancário. Posteriormente no 2005 começou a trabalhar no Centro de Pesquisas de Petróleo de Cuba, vinculando-se às atividades de pesquisas com ênfase em tecnologias de processamento de petróleos, produção de catalisadores e bicombustíveis, atuando principalmente em unidades pilotos. A partir de 2010 começou a trabalhar nos projetos de pesquisa desenvolvidos no Laboratório GreenTec da Escola de Química / Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROSÂNGELA DA SILVA LEONARDO

Possui graduação em Química Industrial pela Fundação Técnico Educacional Souza Marques, mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica, doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, ambos os cursos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SÉRGIO RICARDO RODRIGUES DE MEDEIROS

Doutor em Ciências, Universidade Federal de Santa Catarina

SHIRLEY CRISTINA CABRAL NASCIMENTO

A Professora Shirley Cristina Cabral Nascimento graduou-se em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará em 1999, recebeu o título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará em 2002 e o título de D.Sc. em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE em 2007. Ingressou na Faculdade de Engenharia Química da UFPA em 2008, onde atualmente é Professor Associado III. Atua na coordenação de projetos de ensino, pesquisa e extensão. Tem experiência no tema Metodologias Ativas de Aprendizagem e nos últimos anos vem contribuindo para a publicação de diversos artigos e capítulos de livro com foco no ensino de engenharia. Em 2021 concluiu o curso de especialização Docência no Ensino Superior.

TAINÁ PINHEIRO DA ROCHA

Engenheira de Alimentos (UFPB) e atua profissionalmente como Analista de Controle de Qualidade da empresa do setor alimentício M. Dias Branco, Cabedelo/PB

TALITA RIBEIRO REBELLO

Técnica em Edificações. Graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Senai CIMATEC.

THAYSSA VALÉRIA DANTAS DE ABREU

Possui graduação pela Universidade Federal do Oeste do Pará (2013). Curso de graduação em andamento em Engenharia Quimica na Universidade Federal do Pará (UFPA)

WENDEL DE MELO MASSARANDUBA

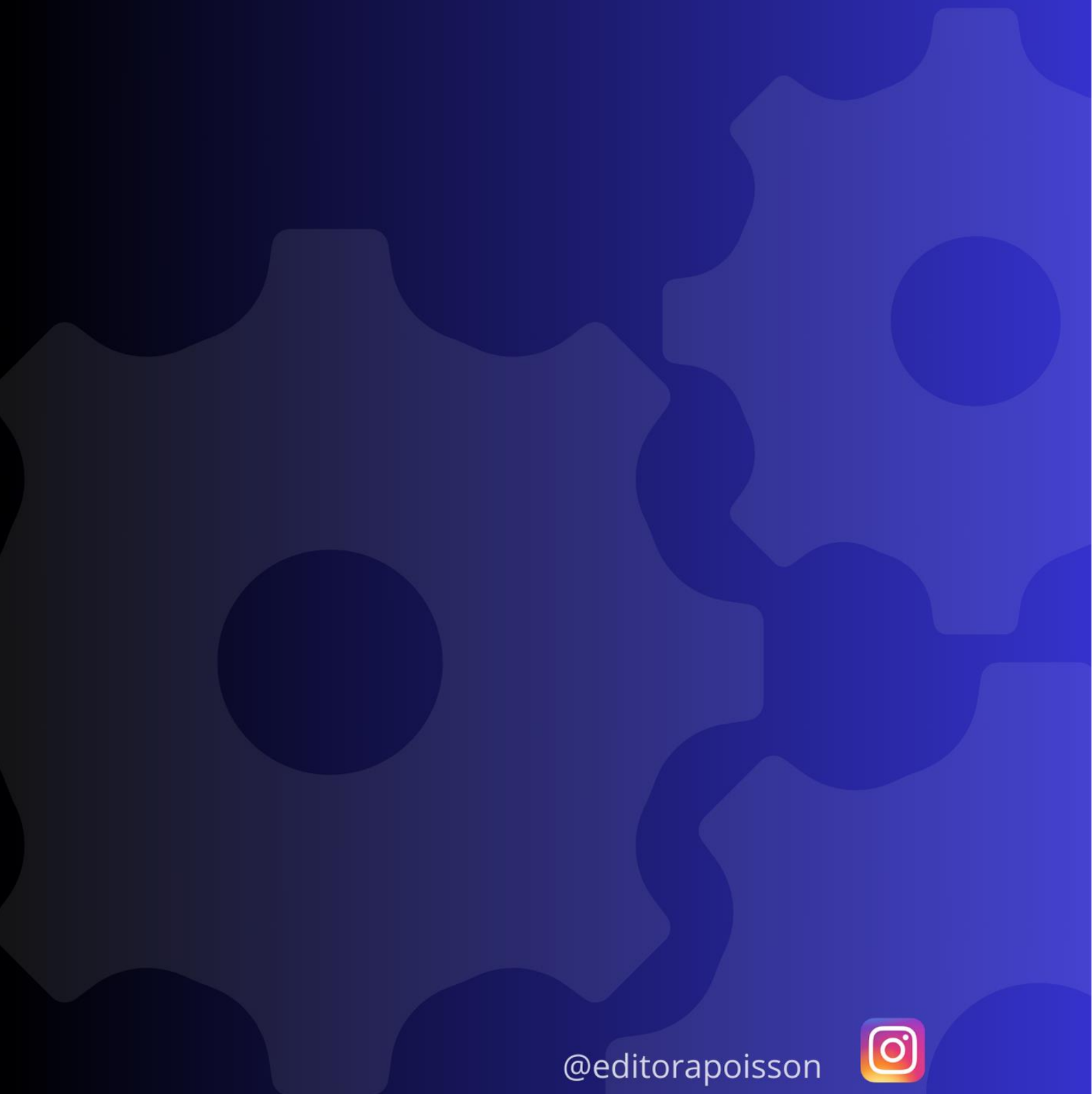
Técnico em agropecuária, engenheiro agrônomo, mestre em recursos hídricos, especialista em educação profissional e tecnológica, geoprocessamento aplicado e meio ambiente e recursos hídricos, doutorando em agricultura e biodiversidade. Atua nas áreas de ecofisiologia vegetal, irrigação, topografia, agricultura de precisão e educação.

AUTORES

YORDANKA REYES CRUZ

Professora do Departamento de Processos Orgânicos da Escola de Química (EQ) da UFRJ. Possui doutorado em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ/UFRJ (2009), mestrado em Análise e Controle de Processos (2003) e graduação em Engenharia Química (1999) pelo Instituto Superior Politécnico José Antônio Echevarría (ISPJAE) de Cuba. Em 2018 ganhou o prêmio ANP de Inovação Tecnológica, em 2013 o prêmio Inventor – Petrobras, em 2010 recebeu da EQ/UFRJ o prêmio de Melhor Tese de Doutorado defendida em 2009 e em 2011 Menção Honrosa da CAPES na área de Engenharias II. Pesquisador III da Academia de Ciências de Cuba.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br



@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson